

# **Estudi de viabilitat d'un sistema de subministrament d'aigua potable a l'escola Tabinwa, Uganda.**



Treball final de grau

Estudiant: Lluís López i Callís

Director: Esteve Jou Santacreu

Quadrimestre tardor 2016-2017



## Resum

Aquest treball de final de grau s'ha realitzat per donar suport tècnic a l'ONG Petits Detalls, la qual està realitzant tasques de voluntariat molt importants en el sector de l'alimentació i la hidratació a Uganda.

En concret, l'objecte d'aquest treball és analitzar la viabilitat tècnica, econòmica i social de les diverses alternatives de subministrament d'aigua a l'escola Tapingwa, situada al districte de Luuka, un dels més pobres del país.

Actualment, l'escola no disposa de la infraestructura adequada per recollir i transportar l'aigua que s'extrau d'un pou situat fora del recinte de l'escola. A més, les quantitats d'aigua que s'estan consumint avui en dia estan molt per sota del mínims, fet que fa que les condicions de vida dels alumnes siguin extremes. És per aquest motiu, doncs, que el projecte tractarà d'apropar l'aigua a l'escola amb el disseny de l'alternativa que s'adapti millor a les condicions de la zona.

Analitzant totes les alternatives possibles, s'ha arribat a la conclusió que la millor solució és instal·lar una bomba hidràulica en un dels dos pous possibles, alimentada amb un generador fotovoltaic situat a la coberta de l'escola. S'ha decidit, a més, que és millor que aquest sistema es combini paral·lelament amb un altre de recollida d'aigües pluvials, per tal de garantir que sempre hi hagi aigua disponible pels alumnes.

Per tant, aquest projecte recull l'anàlisi de les condicions actuals de l'escola, la comparativa de totes les alternatives possibles de subministrament d'aigua com ara l'extracció, transport, emmagatzematge i distribució, el càlcul hidràulic del sistema amb la posterior elecció d'una bomba, el disseny de la instal·lació hidràulica, i finalment, un petit dimensionament de la instal·lació solar que proporciona l'energia necessària per alimentar la bomba.

Finalment, s'ha realitzat un estudi econòmic del que suposa implementar aquest sistema d'abastiment d'aigua a l'escola, per tal que l'ONG decideixi si és viable assumir el cost del projecte.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>3</b>
<b>SUMARI</b>	<b>5</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>9</b>
<b>2. PREFACI</b>	<b>11</b>
2.1. Origen del projecte .....	11
2.2. Motivació .....	11
2.3. Entitats col·laboradores.....	12
<b>3. MARC GENERAL</b>	<b>13</b>
3.1. Introducció.....	13
3.2. Objectius i abast del projecte .....	14
<b>4. CONTEXTUALITZACIÓ DEL PROJECTE</b>	<b>17</b>
4.1. País: Uganda .....	17
4.2. Districte: Luuka .....	18
4.3. Lukunhu A i escola Tabingwa .....	19
<b>5. CAS D'ESTUDI</b>	<b>20</b>
5.1. Situació actual.....	20
5.1.1. Capacitat de l'escola .....	20
5.1.2. Punts d'extracció d'aigua .....	20
5.1.3. Transport i ús de l'aigua .....	22
5.1.4. Higiene .....	22
5.1.5. Sanejament.....	23
5.2. Situació objectiu.....	23
5.3. Característiques físiques de la zona .....	25
5.3.1. Clima .....	25
5.3.2. Precipitacions .....	26
5.3.3. Radiació solar .....	26
5.3.4. Vent.....	28
5.3.5. Hidrografia .....	29
<b>6. ALTERNATIVES DE DISSENY</b>	<b>34</b>
6.1. Quantitat d'aigua que es necessita a l'escola Tabingwa.....	34
6.2. Alternatives d'extracció d'aigua .....	34
6.2.1. Viabilitat de les fonts d'extracció d'aigua .....	39

6.3.	Quantitat d'aigua que es destina a cada recurs.....	40
6.4.	Alternatives d'extracció d'aigua.....	41
6.5.	Alternatives pel transport de l'aigua.....	43
6.5.1.	Disponibilitat de materials pel subministrament d'aigua.....	44
6.6.	Disponibilitat energètica .....	46
6.7.	Condicions de bombeig des del pou fins a l'escola .....	48
6.8.	Alternatives per l'emmagatzematge d'aigua .....	49
6.8.1.	Emmagatzematge de l'aigua provinent del pou.....	50
6.8.2.	Emmagatzematge de les aigües pluvials.....	53
6.9.	Recull d'alternatives possibles.....	56
<b>7.</b>	<b>CÀLCUL DE LA BOMBA PER CADA ALTERNATIVA .....</b>	<b>58</b>
7.1.	Sistema de bombeig del pou al dipòsit.....	58
7.1.1.	Extracció d'aigua des del punt d'aigua Water Source 1 .....	58
7.1.1.1.	Modificació dels paràmetres de disseny .....	62
7.1.2.	Extracció d'aigua d'un pou propi dins l'escola .....	64
7.2.	Tipus de bomba i selecció.....	65
7.2.1.	Tipus de bombes.....	65
7.2.2.	Selecció de la bomba.....	66
7.2.3.	Pressupost.....	70
<b>8.</b>	<b>DIMENSIONAT DE LA INSTAL·LACIÓ .....</b>	<b>71</b>
8.1.	Sistema hidràulic.....	71
8.1.1.	Subministrament d'aigua al dipòsit.....	71
8.1.2.	Subministrament d'aigua a l'escola .....	73
8.1.2.1.	Provinent del dipòsit d'aigua del pou.....	73
8.1.2.2.	Provinent del dipòsit d'aigües pluvials.....	78
8.2.	Sistema elèctric.....	80
8.2.1.	Sistema elèctric per WS1.....	80
8.2.2.	Sistema elèctric per pou propi .....	86
8.2.3.	Rendiment de la instal·lació elèctrica .....	87
8.2.4.	Sistema de control de la bomba .....	88
8.2.5.	Esquema elèctric.....	89
8.3.	Control de la qualitat de l'aigua.....	89
<b>9.</b>	<b>MILLORES WASH A L'ESCOLA TABINGWA.....</b>	<b>93</b>
9.1.	Millora de les infraestructures WASH.....	93
9.2.	Anàlisi de Riscs.....	93

<b>10. IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>95</b>
<b>11. PRESSUPOST DEL PROJECTE</b>	<b>96</b>
<b>CONCLUSIONS</b>	<b>99</b>
<b>AGRAÏMENTS</b>	<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>102</b>
Referències bibliogràfiques.....	102
<b>ANNEX I</b>	<b>103</b>





## 1. Glossari

Afripad – ONG que subministra tovalloles íntimes a Uganda.

Beaufort – Escala per mesurar la intensitat del vent.

HPDE - Polietilè d'alta densitat.

ONG – Organització no governamental.

ORP – Potencial de reducció d'oxidació.

Projecte Esfera – Bases de disseny per projectes humanitaris.

Shallow Well – Pou superficial.

TDS – Sòlids en suspensió

UBOS – Uganda Bureau of Statistics.

Umeme – Empresa subministradora d'electricitat a Uganda.

UNBS – Uganda National Bureau of Standards.

UNICEF – Fons de les nacions unides per a la infància.

U-PVC - Policlorur de vinil no plastificat.

WASH – Water, Sanitation and Hygiene.

WS – Water Source (Punt d'accés a l'aigua)



## 2. Prefaci

### 2.1. Origen del projecte

L'origen d'aquest projecte es remunta a principis de l'any 2015, quan la ONG Petits Detalls va començar a ajudar a una petita escola de nens de primària al districte de Luuka a Uganda. Quan Petits Detalls va arribar al centre educatiu es va trobar amb centenars de nens mal alimentats, sense aigua potable ni, evidentment, electricitat. El treball infantil estava a l'ordre del dia, igual que els casos d'embaràs en les noies joves i fins i tot, matrimoni infantil.

Poc a poc, però, aquesta organització ha anat obrint programes per reestructurar l'escola i donar-li als infants una vida digne, educant-los correctament i cobrint totes les seves necessitats principals: menjar i aigua.

Per aconseguir aquests propòsits els voluntaris han demanat ajuda a altres institucions com ara KoomConsulting, que ja ha realitzat molts altres projectes en països en vies de desenvolupament, i a més, són experts en temes de subministrament d'aigua.

Aquesta institució ha anat recentment tres setmanes a Uganda a analitzar la situació in-situ i recollir informació per realitzar el projecte amb bones condicions: s'ha estudiat l'aigua que els nens utilitzen per hidratar-se, com estan les infraestructures actuals, quin ventall de possibilitats hi ha per subministrar aigua, i sobretot, quines són les necessitats actuals dels alumnes i professors de l'escola.

En aquest punt és quan entra en joc aquest treball de final de grau, on es col·laborarà amb aquestes dues institucions per tal de portar aquest projecte anomenat "Smiles for Luuka" un pas més enllà: es treballarà activament per intentar millorar els sistemes de recollida, transport, emmagatzematge i distribució d'aigua a l'escola Tapingwa, situada al poblat de Lukunhu A, Uganda.

### 2.2. Motivació

La principal motivació que em porta a dur a terme aquest projecte són les ganes de col·laborar en un projecte per ajudar al tercer món. Des de l'inici de la creació de la ONG Petits Detalls n'he estat seguint els seus moviments, començant pel primer projecte anomenat Orfenat Mupenzi i continuant amb Smiles for Luuka, on he vist la possibilitat de poder ajudar i aportar les meves idees amb el treball de final de grau.

D'altre banda, una de les coses que el fa més interessant i gratificant és que aquest projecte pugui construir-se de debò i poder ajudar així a centenars de persones que ho necessiten.

## 2.3. Entitats col·laboradores

- Organització no governamental Petits Detalls:

Petits Detalls és una associació sense ànim de lucre fundada al Desembre de l'any 2014, que es dedica a promoure i gestionar in-situ projectes d'ajuda humanitària en el camp de la salut bàsica i l'ensenyança. En concret, es centra en un país de l'Àfrica Subsahariana que està entre els 25 països més pobres del món: Uganda.

- Consultoria estratègica KoomConsulting:

Una de les entitats que ajuda activament a la ONG Petits Detalls és KoomConsulting, dirigida per Tarik Smith. Aquesta consultoria es la que s'encarrega de gestionar varis dels projectes que s'estan duent a terme amb la ONG, en concret, els relacionats amb subministrament d'aigua. La seva funció principal dins el projecte és fomentar el desenvolupament i la cooperació internacional per tal de millorar la gestió de l'aigua als països més pobres del món.

- UPC-ETSEIB, Departament de Mecànica de Fluids.

Finalment, cal citar el departament amb el qual s'ha realitzat aquest treball, que és el de mecànica de fluids de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona - ETSEIB. El projecte ha estat dirigit per el professor Esteve Jou i, per tant, té un paper fonamental en el desenvolupament d'aquest projecte.

## 3. Marc General

### 3.1. Introducció

L'Àfrica subsahariana, una de les zones més pobres del món, compren un total de 47 països i un territori més gran que els Estats Units, la Xina i l'Índia junts. Al llarg d'aquesta extensió tant gran de continent, més de 1100 milions de persones que habiten tant a zones rurals com urbanes segueixen depenent d'aigua provinent de llacs, pous i aigües subterrànies no potables i en mal estat.

Des de temps enrere, gràcies a les petites millores que s'han anat realitzant en aquest continent en el subministrament d'aigua potable i sanejament, s'ha aconseguit reduir la quantitat de persones que moren cada dia degut a les malalties infeccioses que s'originen en el consum d'aigües en mal estat: el paludisme i la diarrea. Encara que des de fa molts anys s'està intentant posar solució a la situació tant desfavorable en la que es troba el continent africà, encara hi ha molt treball per endavant: segons dades proporcionades per l'organització UNICEF, 4500 nens menors de 5 anys moren cada dia degut a la falta d'aigua potable, i on a més, si es compara l'Àfrica subsahariana amb Europa o Estats Units, una persona africana té 520 probabilitats més de morir que un occidental degut al mal estat de l'aigua, on només un 36% de les persones poden accedir a l'aigua per a la pròpia higiene.

Altrament, les dones i nenes a l'Àfrica subsahariana són les encarregades d'anar a buscar aigua als punts d'aigua més propers, on de mitjana poden arribar a caminar més de 6 Km cada dia carregant sobre els seus caps 20 Kg de pes, situació que genera lesions a les espatlles d'aquestes persones i una pèrdua de temps que es podria invertir en altres tasques més productives, per fer així avançar poc a poc aquest continent. De fet, hi ha moltes organitzacions no governamentals que s'encarreguen de construir pous i xarxes de distribució d'aigua a poblats i zones rurals dels països africans, per evitar així la peregrinació diària de milers de persones amb garrafes plenes d'aigua.

La ONG Petits Detalls, és precisament una d'aquestes tantes organitzacions que s'encarreguen d'aportar el seu esforç dia a dia per ajudar aquesta gent que tant ho necessita. L'organització treballa activament al país d'Uganda i té concretament dos projectes oberts: Orfenat Mupenzi i Smiles for Luuka.

En primer lloc, el projecte Orfenat Mupenzi és un projecte dut a terme a Jinja, on la ONG ajuda durant tot l'any a 40 infants, 31 noies i 9 nois, a partir dels 3 anys d'edat. Quan aquest projecte va començar, aquestes persones dormien al terra, menjaven 1 cop al dia com a molt i no disposaven d'aigua potable. Gràcies a l'ajuda de la ONG i totes les persones que hi

col·laboren, actualment els infants poden seguir una dieta, tenen llits i punts d'aigua potable en el mateix orfenat.

D'altre banda, el projecte Smiles for Luuka, es un nou projecte que s'obre pas al districte de Luuka, una de les zones més pobres i menys desenvolupades d'Uganda. El projecte gira entorn l'escola de primària Tapingwa, que dona educació a més de 600 nens. Degut a la pobresa extrema en que es troba aquest districte, el nivell educatiu és molt baix, on gairebé la meitat dels infants sofreixen malnutrició, pateixen de treball infantil, embarassos i matrimoni a una edat molt jove.

### **3.2. Objectius i abast del projecte**

Aquest treball té per objecte donar suport al projecte "Smiles for Luuka", que s'encarrega de millorar les condicions de vida dels gairebé 700 alumnes que estudien a l'escola Tapingwa, Uganda, els quals no disposen pràcticament ni de menjar ni aigua. En concret, es tractarà d'estudiar la viabilitat tècnica, econòmica i social/cultural de les possibles alternatives de subministrament d'aigua potable a l'escola.

Es tractarà de fer un disseny econòmic i sostenible de l'alternativa que s'adapti millor a l'entorn, per tal que els alumnes de l'escola disposin d'aigua potable per cobrir les seves necessitats bàsiques: hidratació, cuina, higiene i sanejament.

En primer lloc es valorarà la situació actual WASH de l'escola a partir del fons d'informació proporcionat per les entitats col·laboradores. S'exposarà el cas d'estudi i es valorarà quina és la situació actual i on es vol arribar. S'analitzarà, també, la problemàtica amb la que es troba l'escola i que tractarà de resoldre al final d'aquest projecte

En segon s'estudiarà tots els sistemes d'extracció d'aigua possibles, tant per separat com combinant-los entre ells, per tal d'aconseguir la major quantitat d'aigua amb el pressupost més ajustat possible. S'analitzaran, també, totes les alternatives d'obtenció d'energia, transport d'aigua, emmagatzematge i posterior distribució. Per cada alternativa, es tindrà en compte l'estudi econòmic i l'impacta social que pot generar a la comunitat de Luuka, per tal d'evitar un rebuig social o generar un conflicte comunitari.

En tercer lloc es dimensionarà la instal·lació que encaixi més a l'escola. Es començarà estudiant tot el sistema hidràulic: captació d'aigua, transport, emmagatzematge i distribució a partir de les lleis de la mecànica dels fluids, i es continuarà pel dimensionat de la instal·lació que s'encarrega de transmetre energia al sistema hidràulic, per tal que tot funcioni correctament.

Per tal d'escollir correctament els elements del sistema, es contemplarà també la normativa

que aplica a la construcció d'Uganda, com per exemple, per la selecció dels materials per dimensionar les canonades.

Finalment, es farà un anàlisi de les possibles millores que es puguin dur a terme a l'escola per millorar el seu funcionament en general, com per exemple: construcció de noves latrines, zones de neteja íntima per la menstruació, etc.

Per tant, l'abast del projecte es pot definir com: analitzar i interpretar la situació actual, entendre quines són les necessitats bàsiques per tal de plantejar un sistema de subministrament d'aigua òptim per les condicions actuals de l'escola, analitzar les alternatives i dissenyar la instal·lació pertinent que compleixi amb els següents requisits:

- Compliment de les bases de disseny del projecte esfera per ajuda humanitària.
- Sistema sostenible, sense gran cost de manteniment.
- S'ha d'ajustar a un pressupost limitat que la ONG pugui ser capaç d'assumir.
- Sistema capaç d'adaptar-se a l'entorn, per tal de no ocasionar conflictes socials o comunitaris.
- Ús d'una tecnologia freqüent a Uganda per tal d'evitar cridar l'atenció.
- Fàcil de reparar i mantenir.
- Protegit davant d'actes vandàlics.





## 4. Contextualització del projecte

### 4.1. País: Uganda

Uganda és una república situada a l'Àfrica central, sense sortida al mar. És un país que fa frontera amb Sudan pel nord, amb Kenya per l'est, amb Tanzània pel sud, amb Rwanda pel sud-oest i amb la república democràtica del Congo per l'oest.



*Figura 1: Contextualització d'Uganda.*

El nombre total d'habitants del país és 37,58 milions amb una esperança de vida de 58 anys. El país està dividit en 111 districtes i la seva capital és Kampala, essent la ciutat més poblada amb un total de 1,209 milions. La superfície d'Uganda ocupa una àrea de 241.550,7 Km<sup>2</sup>, de la qual un 15,39 % és superfície aquàtica contant els rius, llacs i aiguamolls.

L'activitat principal del país gira al voltant del llac Victòria, que és el segon llac d'Aigua dolça més gran del món, i és on es concentra gairebé tota la indústria d'Uganda.

Tot i ser un país amb força recursos aquàtics, l'abastiment d'aigua potable a tots els punts del país encara és un repte, i això és degut a diversos factors: Hi ha hagut una sobrepressió d'aquest recurs degut al creixement de la seva població i de la indústria. A part, hi ha una manca d'infraestructures i xarxes hidràuliques a bona part del país, sobretot a les zones rurals i més aïllades.

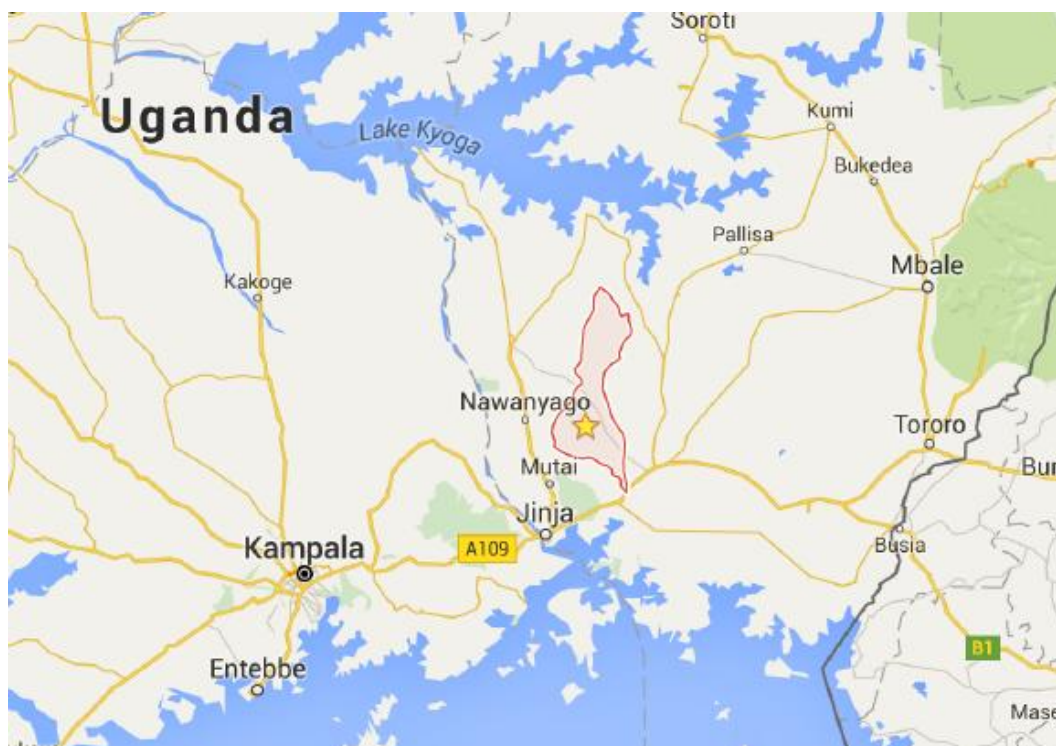
Algunes dades proporcionades per la institució UBOS reflexa aquesta situació:

- El total de població menor a 15 anys és del 50 %.
- La població orfe per sota dels 18 anys és del 12 %
- El 58 % de les persones triga més de 30 minuts caminant per anar a buscar aigua.
- Un 15 % de la població té electricitat a casa i un 6 % aigua corrent.
- Pràcticament un 70 % de la població rural no tracta l'aigua abans de beure-la, mentre que a les zones urbanes aquesta xifra és d'un 28 %.

Com es pot veure, els indicadors de pobresa a Uganda són força elevats. Aquest projecte, però, té per objectiu atacar una zona molt petita del país, en concret s'actuarà en un dels 111 districtes que té: el districte de Luuka.

## 4.2. Districte: Luuka

El districte de Luuka ocupa una extensió de terreny de 650,10 Km<sup>2</sup> amb una població de 260.000 habitants. El 50 % de la població són infants i, en total, la mitja d'edat de la gent que hi habita és de 15 anys. Al ser una de les regions més pobres del país, la esperança de vida disminueix del 58 anys (esperança de vida mitja d'Uganda) als 50 anys, un fet encara més alarmant.



*Figura 2: Districte de Luuka, Google Maps.*

Dins del districte de Luuka, el projecte és centra en el comptat de Bukanga i subcomptat

Busalamu, en el poblat anomenat Lukunhu A.

### 4.3. Lukunhu A i escola Tabingwa

El projecte Smiles for Luuka és porta a terme en el petit poble de Lukunhu A, on hi habiten unes poques famílies que es dediquen bàsicament a la recol·lecta de canyes de sucre per vendre-les a dues empreses: “Sugar Works”, situada a un poble anomenat Mayuge (prop de la ciutat de Jinja), o bé a l'empresa “Caliro Sugar Factory”, al districte de Caliro. A part de la recol·lecta de canyes de sucre, hi ha petits negocis que es dediquen a la producció d'arròs, cafè, moniatos i fins i tot, hi ha famílies que es dediquen a la producció de maons.

L'escola Tabingwa és un dels centres principals de la zona. Acull a uns 700 alumnes amb unes condicions precàries: no disposen d'electricitat ni aigua corrent. L'escola es regeix per tres associacions principals: El comitè de gestió de l'escola, l'associació de pares i l'església Anglicana, que és l'òrgan de fundació.

El reverent, Patrick Isabirye, és un dels tres pilars de l'escola i posseeix la zona est d'aquesta, que conté les terres de cultiu.

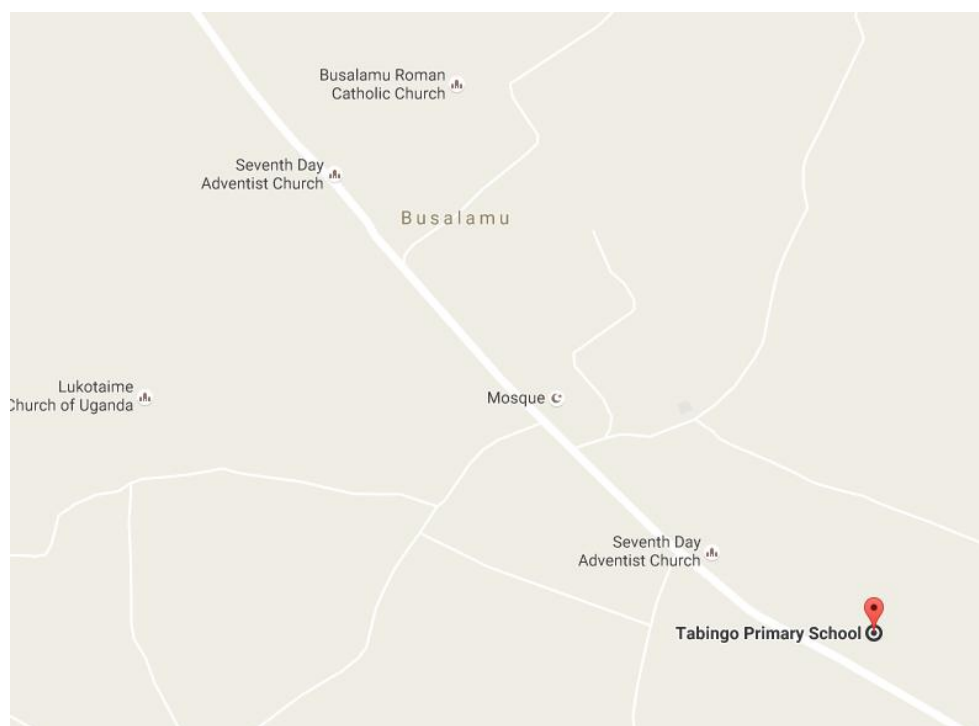


Figura 3: Lukunhu A i escola Tabingwa.

## 5. Cas d'estudi

### 5.1. Situació actual

#### 5.1.1. Capacitat de l'escola

L'escola Tapingwa actualment dona ensenyança a 696 alumnes dels quals 334 són noies i 362 són nois. L'escola, a més, disposa d'un equip de 18 persones que són les que s'encarreguen d'ensenyar i gestionar l'escola. Es pot veure el nombre total d'alumnes separats al llarg dels 7 cursos a la següent taula que, posteriorment, servirà per fer un anàlisi detallat de les necessitats del projecte:

Curs	Nois	Noies	Total
P1	59	60	119
P2	55	45	100
P3	75	58	133
P4	53	50	103
P5	45	58	103
P6	48	30	78
P7	27	33	60
<b>Total</b>	<b>362</b>	<b>334</b>	<b>696</b>

*Taula 1: Distribució dels alumnes de l'escola*

També cal comentar els casos especials: hi ha alumnes que venen cada dia a l'escola des d'una distància de 4 Km caminant i també hi ha 8 alumnes amb discapacitat a l'escola (4 nens i 4 nenes).

#### 5.1.2. Punts d'extracció d'aigua

L'estudi WASH - "Water, Sanitation and Hygiene" que s'ha realitzat a l'escola Tapingwa durant un total de 3 setmanes ha proporcionat molta informació sobre les condicions d'extracció, transport i emmagatzematge de l'aigua.

En primer lloc, el que cal analitzar són els punts d'extracció d'aigua actuals: Com funcionen, ús que li dona l'escola, problemes que pot comportar al extreure'n aigua, etc.



*Figura 4: Situació geogràfica dels punts d'extracció d'aigua actuals.*

Com es pot veure a la figura 4, l'escola Tapingwa queda davant d'una carretera de sorra en la qual hi ha distribuïts, més o menys de forma equitativa, 5 punts d'aigua anomenats "Water Sources - WS":

**WS 1:** És el punt d'aigua més proper a l'escola, situat a 300 metres de distància i funciona amb una bomba pistó de tipus manual. És la font d'aigua que s'utilitza per abastir d'aigua a tota l'escola, quan n'hi ha suficient. Sovint, però, aquesta font d'aigua presenta alguns problemes, com per exemple: es troben excrements d'animals molt a prop del punt d'aigua, l'aigua que en surt d'aquest punt és una mica turbida, o bé, quan estan en època de sèquia, hi ha cops que el pou no té prou aigua. Quan no hi ha prou aigua en aquest punt, els alumnes es veuen obligats a anar al punt d'aigua 3 (WS 3).

**WS 2:** És el punt d'aigua que està a 0.5 Km de l'escola i és utilitzat per la família Abdela i els veïns. Normalment els alumnes de l'escola no utilitzen aquesta font d'aigua ja que podria ocasionar problemes amb la gent que utilitza el pou a diari.

**WS 3:** Aquest punt d'aigua és gestionat per la ONG Water Mission i està a 1 Km de distància de l'escola Tapingwa. És el punt on es recorre com a cas d'emergència si el punt d'aigua 1 s'ha assecat. El principal problema és que omplir una garrafa d'aigua de 20 litres costa 100 xílings, que és la moneda d'Uganda. Aproximadament, equival a 0,03 euros.

**WS 4 i 5:** El punt d'aigua 4 està a 1 Km de l'escola, mentre que el punt 5 està a 1.3 Km,



respectivament. Aquests punts no s'utilitzen perquè ja queden massa lluny del centre escolar, i a més, el punt d'aigua 5 pertany a l'escola musulmana.

### 5.1.3. Transport i ús de l'aigua

Actualment l'escola disposa de 6 garrafes d'aigua de 20 litres cada una, i segons han comentat els representats de l'escola, aquestes garrafes s'omplen 20 cops al dia, el que suposa un ús de 400 litres diaris.

Per tal d'apropar els 400 litres d'aigua diaris a l'escola, els alumnes han de fer el camí 20 cops, el que suposa un total de 12 Km al dia entre totes les persones que van a buscar aigua. A part, la meitat del camí es realitza carregant una garrafa d'aigua de 20 litres, que pot ocasionar lesions a l'esquena dels alumnes.

Un altre fet alarmant és que l'escola està davant d'un camí de sorra per on passen vehicles que venen o van cap a Busalamu, el que comporta és que més d'un cop es registren accidents d'atropellament a alumnes que van a buscar aigua. I encara més greu, hi ha hagut casos de segrest i violacions en alumnes de les escoles del voltant. A part, els membres de l'escola han comentat que les garrafes estan en força mal estat i no solen ser netejades.

D'altra banda, l'anàlisi WASH que s'ha fet a l'escola a permès estudiar les quantitats d'aigua que es dediquen cada dia a les següents activitats: hidratació, higiene corporal, cuina i sanejament:

Activitat	Garrafes	Litres d'aigua total	Litres per persona
Hidratació	10	200	0,28
Cuina	4	80	0,112
Neteja latrines	6	120	0,168

*Taula 2: Distribució de les garrafes diàries a cada activitat*

### 5.1.4. Higiene

D'altra banda, pel que fa a la higiene corporal s'ha de dir que no tenen aigua disponible per rentar-se les mans ni les zones íntimes un cop han anat al lavabo, igual que les noies no poden accedir a una correcta higiene quan tenen la menstruació. Aquest tema relacionat amb la higiene de la menstruació a les noies joves és un cas delicat a tractar, ja que les noies passen vergonya, hi ha burles per part dels altres companys, etc, i en molts casos

durant aquesta època no assisteixen a classe per no passar una mala estona. Aquest fet comporta que cada cop les noies estiguin menys motivades i acabin deixant l'escola, que és aleshores quan es produeixen els matrimonis a molt jove edat (menys de 12 anys).

### 5.1.5. Sanejament

Finalment, per completar l'estudi, cal fer un anàlisi del sanejament. Cada lavabo va connectat a una latrina, que no deixa de ser un forat cavat al terra per poder emmagatzemar els excrements humans. Quan aquest forat està ple, es sella i se'n construeix un altre al costat.

Actualment hi ha 10 latrines disponibles, per un total de 696 alumnes, el que equival a 1 latrina cada 70 alumnes. Aquestes latrines es netegen un cop al dia amb aigua i un parell de cops a la setmana amb detergent. (S'ha detectat una manca de detergent i raspalls, també). Cal comentar que els alumnes amb discapacitat no tenen un accés especial a aquestes latrines i, a més, les dels nois estan en molt mal estat, ja que es van construir fa més de 20 anys.

## 5.2. Situació objectiu

La normativa mínima d'abastiment d'aigua, sanejament i promoció de la higiene del projecte esfera deixa establertes les quantitats mínimes que cada individu requereix d'aigua per assegurar la supervivència. En la taula següent es mostren les dades establertes pel projecte esfera:

Ús de l'aigua	Quantitat d'aigua
Hidratació	3 litres per persona i dia
Higiene	4 litres per persona i dia
Cuina	5 litres per persona i dia

Taula 3: Quantitat d'aigua bàsica per persona i dia. (Pàg. 118/450 del projecte esfera)

Fent la suma global, el mínim d'aigua que necessita una persona cada dia per sobreviure són **12 litres** d'aigua.

D'altra banda, però, la normativa també regula la quantitat d'aigua a subministrar en institucions del tipus escola, camps de refugiats, etc:

Ús de l'aigua	Quantitat d'aigua
<b>Escoles: Neteja mans i hidratació</b>	3 litres per persona i dia
<b>Higiene anal i menstruació</b>	1.5 litres per persona i dia
<b>Neteja de latrines</b>	5 litres per latrina i dia

Taula 4: Quantitat d'aigua per institucions i altres usos. (Pàg. 145 / 450 del projecte esfera.)

Apart, la normativa regula una latrina per cada 30 nenes i una per cada 60 nens, el que comporta que, en realitat, es necessiten 18 latrines per que tots els alumnes puguin fer les seves necessitats, més una addicional per les 18 persones que gestionen l'escola.

Per fer el càlcul de quantitat d'aigua a subministrar es considera el següent:

- Les 18 persones que gestionen l'escola es compten a part dels alumnes i les quantitats mínimes d'aigua que requereixen s'aplicaran seguint la taula 3.
  - $18 \text{ persones} \cdot 12 \frac{\text{litres}}{\text{persona i dia}} = 216 \frac{\text{litres}}{\text{dia}}$
- Les quantitats mínimes d'aigua que necessiten els 696 alumnes per sobreviure es comptaran seguint els criteris de disseny de la taula 4:
  - Hidratació i neteja de mans:  $696 \text{ persones} \cdot 3 \frac{\text{litres}}{\text{persona i dia}} = 2088 \frac{\text{litres}}{\text{dia}}$
  - Higiene anal i menstruació:  $696 \text{ persones} \cdot 1.5 \frac{\text{litres}}{\text{persona i dia}} = 1044 \frac{\text{litres}}{\text{dia}}$
  - Cuina: La gran majoria d'alumnes menja un cop al dia a l'escola, per tant, fent la proporció de 5 litres a 4 àpats, 1 àpat surt a 1.25 litres per persona i dia:
 
$$696 \text{ persones} \cdot 1.25 \frac{\text{litres}}{\text{persona i dia}} = 870 \frac{\text{litres}}{\text{dia}}$$
  - Latrines:  $19 \text{ latrines} \cdot 5 \frac{\text{litres}}{\text{latrina i dia}} = 95 \frac{\text{litres}}{\text{dia}}$

Fent el recompte total, la quantitat d'aigua mínima que es necessita subministrar a l'escola diàriament és d'un total de **4313** litres d'aigua. Per tant, si es fa la comparació dels 400 litres diaris dels que actualment disposen els membres de l'escola, enfront dels litres diaris mínims que es requereixen, es pot veure que realment la situació és realment crítica: no s'arriba ni a una desena part dels mínims necessaris per garantir la supervivència.



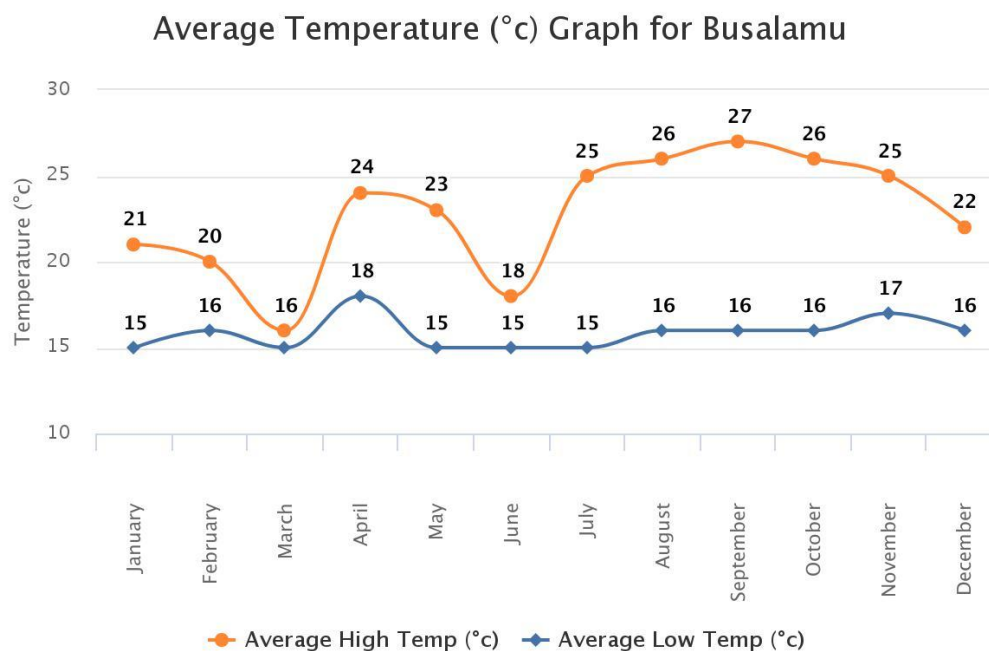
### 5.3. Característiques físiques de la zona

Estudiar les característiques físiques de l'àrea d'estudi es clau pel correcte desenvolupament energètic de les comunitats aïllades dels països subdesenvolupats: l'accés a la xarxa elèctrica o als combustibles fòssils és limitat i car, pel que fa que els dissenys d'enginyeria girin entorn a les energies renovables, provinents de fonts naturals.

Tot i que l'àrea d'estudi on es centra aquest projecte és al poblat de Lukuhnu A, no hi ha un registre històric de les condicions meteorològiques en aquest punt concret. Per tant, s'ha hagut de cercar una alternativa i el punt més proper que s'ha trobat amb registre històric de clima i precipitacions és el poble de Busalamu, a 3,4 Km de l'escola Tabingwa. Per tant, degut a la proximitat a l'escola, es considera representatiu i es farà l'estudi considerant les dades mostrades a continuació.

#### 5.3.1. Clima

L'estudi del clima a Busalamu s'ha realitzat fent la mitjana de temperatures de cada mes durant 12 anys (període comprès des de l'any 2000 fins l'any 2012), prenent dos variables: les màximes i mínimes temperatures. Aquesta evolució de temperatures permet veure les condicions climàtiques a les que estan exposats els alumnes de l'escola Tabingwa.



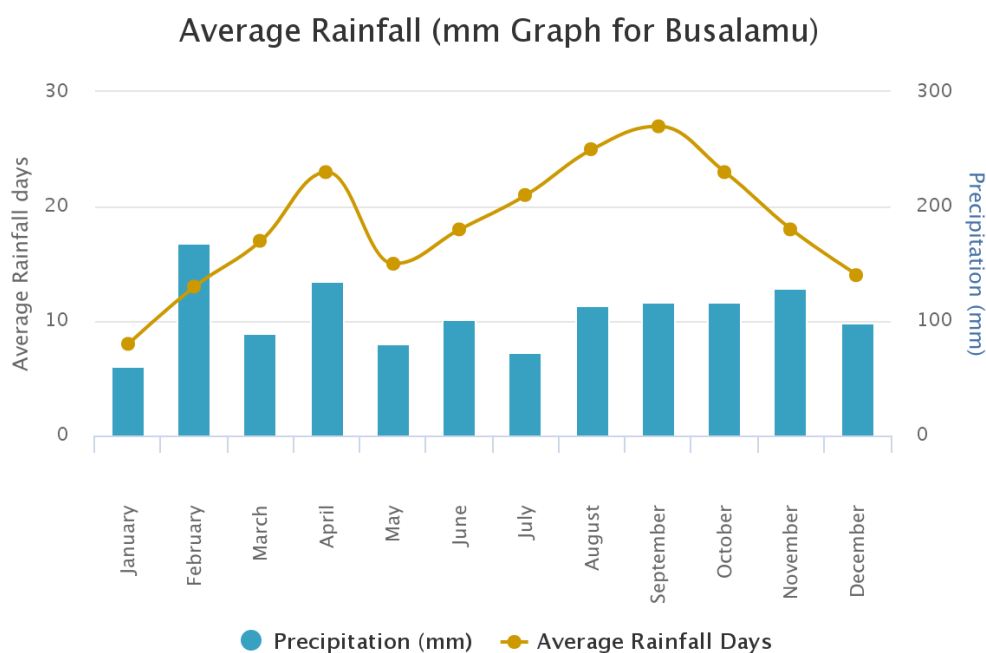
*Figura 5. Temperatures al poblat de Busalamu. Dades proporcionades per World Weather Online.*

Com es pot veure al gràfic, les temperatures són força estables als 20 °C, i per tant, no ens enfrontem a un clima extrem, com podria ser el cas d'altres països més àrids: Mali, Níger,

Etiopia, Chad o Sudan. Els mesos més calorosos són d'Agost a Novembre, amb temperatures màximes (en mitjana) de 27°C i mínimes de 16°C, i els menys calorosos de Gener a Març amb màximes de 21-22°C i mínimes de 15-16°C.

### 5.3.2. Precipitacions

El recurs de l'aigua provinent de les precipitacions és cada cop més usat a Uganda, ja que el clima és tropical i plou amb certa freqüència. Instal·lar un sistema de recollida d'aigües pluvials és una inversió que val la pena realitzar si les condicions de la zona són les adequades, i per això, cal realitzar un estudi de les precipitacions a la zona d'estudi.



*Figura 6: Precipitacions a Busalamu. Dades proporcionades per World Weather Online*

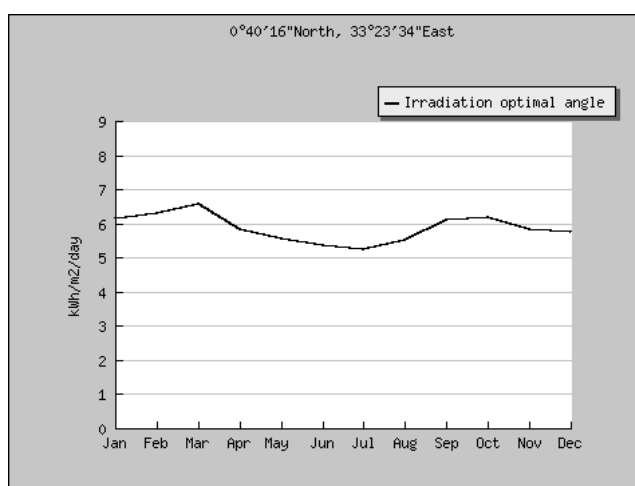
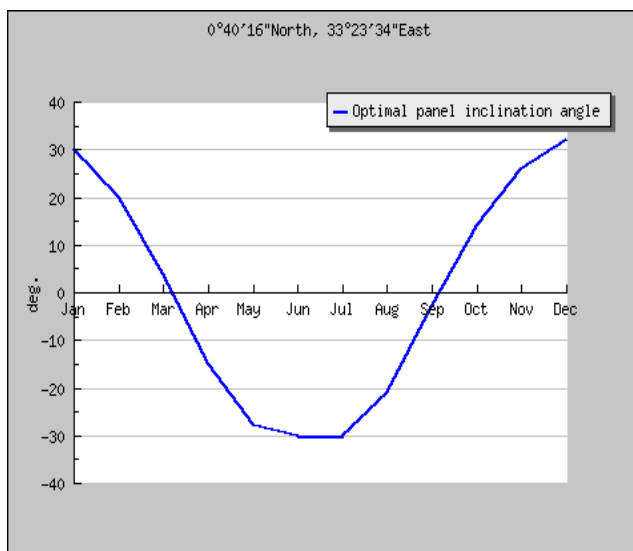
Com es pot veure al gràfic anterior, durant els 12 anys que s'ha pres com a interval d'estudi, les precipitacions van entre els 70 litres/m<sup>2</sup> (70 mm) el mes menys plujós i 180 litres/m<sup>2</sup> (180 mm) el mes més plujós. A part, es pot veure que les pluges són força continuades i no pas puntuals, situant la mitjana a 18 dies mensuals. Per la quantitat i la continuïtat de les precipitacions es pot veure que en aquesta zona sí pot ser factible una xarxa de recollida d'aigües pluvials.

### 5.3.3. Radiació solar

L'energia renovable provinent del sol és un recurs força utilitzat a les comunitats rurals o aïllades amb difícil accés a la xarxa elèctrica. Per tal de determinar la radiació solar incident a l'escola s'ha utilitzat el programa "Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)".

Aquest programa permet, introduint les coordenades del punt d'estudi, determinar els nivells de radiació incidents i l'angle òptim d'inclinació de les plaques solars, per tal d'aprofitar al màxim l'energia.

Mes	Irradiació Òptima	Angle Òptim
<b>Gener</b>	6160	30
<b>Febrer</b>	6310	20
<b>Març</b>	6580	4
<b>Abril</b>	5850	-15
<b>Maig</b>	5560	-28
<b>Juny</b>	5340	-30
<b>Juliol</b>	5230	-30
<b>Agost</b>	5520	-21
<b>Setembre</b>	6100	-3
<b>Octubre</b>	6170	14
<b>Novembre</b>	5820	26
<b>Desembre</b>	5760	32
<b>Mitja any</b>	5860	1



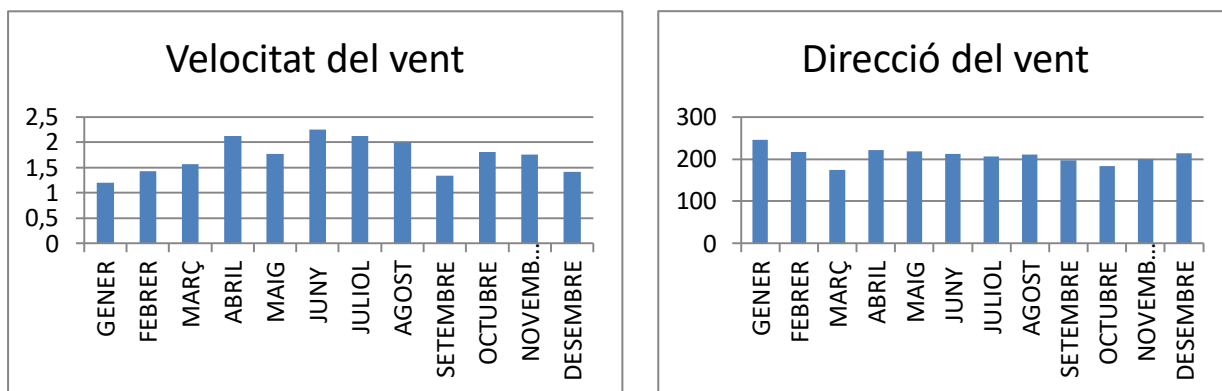
*Taula 5: Distribució de radiació solar al llarg de l'any; Figures 7 i 8: Angle òptim (°) respecte la horitzontal i Irradiació òptima en funció del mes ( $W \cdot h/m^2/dia$ ), respectivament.*

Les taules anteriors mostren els nivells d'irradiació incidents a la superfície terrestre al llarg de l'any ( $W \cdot h/m^2/dia$ ) amb un angle òptim (°), que varia al llarg de l'any segons la posició del sol. En aquest cas, doncs, la irradiació que arriba a l'escola Tapingwa és, en mitjana, de  $5860 W \cdot h/m^2/dia$ , si es fixa l'eix de la placa fotovoltaica a l'angle òptim considerat pel programa de 1° respecte la horitzontal.

### 5.3.4. Vent

L'energia eòlica és un altre recurs energètic que s'està començant a implantar a Uganda, sobretot a les bores del llac Victòria, turons i les parts més planes del nord del País. Aquestes regions solen agafar vents de més de 6 m/s suficients per fer moure els aerogeneradors que proporcionaran energia elèctrica. D'altra banda, un vent que es mogui entre 1,5 i 3 m/s (número 2 de l'escala Beaufort<sup>1</sup>) ja pot activar els molins de vent instal·lats en zones rurals i camps.

A partir del programa Windy TV s'ha recopilat la informació del estat del vent a l'escola Tapingwa: incidència i velocitat. S'ha pres una mostra per setmana de les condicions del vent a l'escola durant tot l'any 2016, i els resultats han estat els següents:



Figures 9 i 10: Direcció i velocitat del vent a l'escola Tapingwa, respectivament

La velocitat del vent en el gràfic anterior es mesurada amb unitats de l'escala Beaufort. Per tant, si per produir energia eòlica interessa nombres de Beaufort superiors a 2, el gràfic mostra que la intensitat de vent en l'escola no és suficient, ja que només hi ha nombres de Beaufort més grans o iguals que 2 en una tercera part de l'any. (Dades preses a 10 metres de la superfície terrestre).

D'altra banda, però, un altre factor a estudiar és la direcció del vent, si interessa col·locar un moli eòlic. La figura 9 anterior mostra la direcció del vent en graus, prenent l'origen de referència la direcció sud. Com es pot observar, doncs, el vent va sempre en direcció nord-est.

<sup>1</sup> L'escala Beaufort mesura la intensitat del vent. La velocitat en m/s es pot calcular com:

$$v = 0,837 \cdot B^{3/2} ; \text{ on B és el nombre de Beaufort.}$$

### 5.3.5. Hidrografia

Uganda és un país amb una molt bona hidrografia, però la falta de recursos impedeix que els seus habitants tinguin un accés segur a l'aigua. És un país que conté i hi circula molta aigua, tant subterrània com superficial, ja que per exemple, conté el segon llac d'aigua dolça més gran del món amb 42,5 Km<sup>2</sup>: el llac Victòria, que dona naixement al riu Nil. D'altra banda, hi ha altres dos llacs també importants: el llac Mobutu Sese Seko i el Kyoga.

Una de les entitats que s'encarrega d'aportar recursos per a la gestió i eficiència de l'aigua és Busoga Trust, que actua principalment als districtes de Luuka, Jinja i Iganga. S'encarreguen de construir infraestructures d'aigua per a les comunitats, subvencionades per les ONG i el govern on, amb un acord amb els membres de la comunitat per la correcta mantenició de les instal·lacions i inspeccions setmanals/mensuals de les diverses infraestructures, s'aconsegueix fins a un 77% de funcionalitat. En el cas d'averia, a les bombes d'aigua, es té subcontractada l'associació privada de mecànics de bombes manuals, que s'encarreguen de solucionar les averies.

S'han construït més de 2300 fonts d'aigua per les persones que viuen a Uganda, on en la següent imatge es pot apreciar el sector principal d'actuació de Busoga Trust. Cal dir, però, que el districte de Luuka no es pot apreciar a la imatge ja que queda tapat per els punts verds que representen fonts d'aigua en total funcionament.



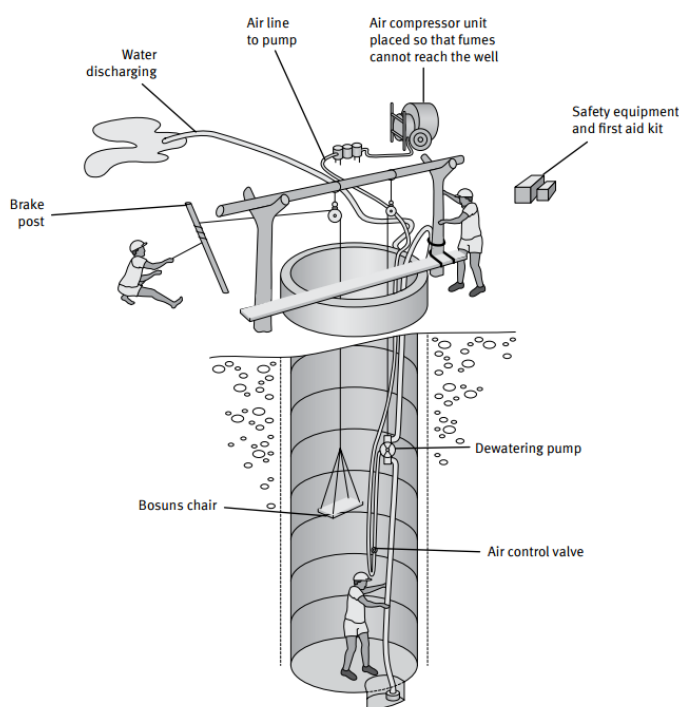
*Figura 11 : Fonts d'aigua creades per Busoga Trust.*

Ja que els punts d'aigua anomenats "Water Sources" a l'apartat 5.1.2 d'aquest treball han estat dissenyats i construïts per Busoga Trust, cal veure quin tipus d'infraestructures i construccions s'estilen per poder ajustar aquest projecte adequadament a l'entorn.

Hi ha 4 tipus principals de fonts d'aigua:

### 1. Pous poc profunds amb bomba manual:

Són pous d'aigua excavats a mà, inferiors a 30 metres de profunditat. És el mètode tradicional d'obtenció d'aigua en zones rurals i, encara avui dia, el més utilitzat. Té una limitació, i és que degut a que els pous són excavats a mà, la geologia del terreny importa i el seu ús es restringeix a terrenys formats per argiles, sorres, grava i terrenys mixtes, on només petites roques hi puguin haver-hi en la trajectòria de l'excavació. D'altra banda, el pou requereix d'una amplada més gran del que tindria si s'excavés amb una màquina. Generalment aquesta amplada sol ser de 1,5 metres de diàmetre, per tal de que el treballador pugui excavar bé.



*Figura 12: Sistema d'excavació manual d'un pou d'aigua.*

El més usual en aquest tipus de pous és instal·lar una bomba de tipus manual per extreure l'aigua i el preu d'excavar un pou poc profund o "Shallow Well" manualment ronda els 2.000 €, segons ha informat la companyia Busoga Trust, encarregats de perforar i mantenir pous a Uganda.

### 2. Pous profunds:

Són pous excavats amb màquines especials, de profunditat superior a 30 metres. Degut a l'altura a la que es troba l'aqüífer, ja no és viable utilitzar bombes de tipus manual, sinó que es millor utilitzar bombes mecàniques per extreure l'aigua.

L'ús de tecnologies d'excavació més modernes davant l'excavació manual, porten un seguit d'avantatges incorporades, com per exemple: només es necessiten uns 100 o 150 mm de diàmetre davant dels 1,5 metres que necessita l'excavació manual, és més ràpid i senzill d'enfonsar, no necessita un sistema de desaigua durant l'excavació, el sistema és més segur tant per construir-lo com per utilitzar-lo i involucra menys manteniment.



*Figura 13: Excavació de tipus automàtic.*

L'excavació de tipus automàtic sol rondar els 10.000 € a Uganda, segons ha confirmat la companyia Busoga Trust.

### 3. Fonts naturals:

És una font d'aigua que brolla entre les roques, ocasionada per aigua de la pluja que es filtra en un punt, i desemboca a un altre punt de menys alçada.

Per tal de dissenyar un sistema de captació d'aigua a partir d'una font s'han de seguir els tres següents passos:

- Dissenyar un sistema de desviació de l'aigua de la font.
- Desviar l'aigua i construir una cambra de recollida.
- Protegir-la addicionalment amb capes de material impermeable

### 4. Captació d'aigües pluvials:

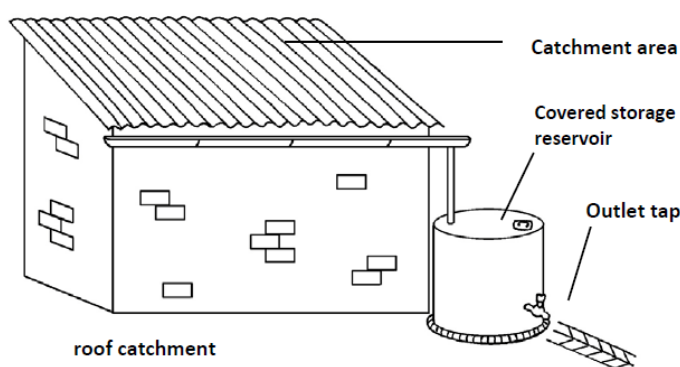
En àrees de pluges regulars és sovint utilitzat mètodes de captació d'aigües pluvials. Aquesta aigua és sovint de les més netes que es troba de forma natural, ja que és aigua destil·lada que només està exposada a contaminació atmosfèrica causada pel fum



d'incendis o bé processos industrials. En el cas d'Uganda, al no haver-hi gaire indústria i al ser tot molt rural, aquesta contaminació és menor i, per tant, aquesta aigua resultarà més neta.

De tota l'aigua que es capta per mètodes més tradicionals (explotació d'aigües superficials de rius, llacs i rierols, i de captació d'aigua subterrània mitjançant pous) representa només un 40% del total: la resta és aigua que es perd i torna al seu cicle mitjançant processos d'evaporació i transpiració.

A continuació es pot veure l'exemple de muntatge de sistemes de captació d'aigües pluvials que s'utilitza a Uganda:



*Figura 14: Sistema de captació d'aigües pluvials*

El cost d'implementar un sistema d'aquest estil té un preu d'uns 850 €, amb un tanc de 5 m<sup>3</sup>.

En resum, doncs, la taula comparativa següent es pot veure quins tipus de costos van associats a cada sistema de captació d'aigua i els comentaris o requeriments pertinents a cada un:

Sistema de captació	Cost inicial	Cost Manutenció	Requeriments/Comentaris
<b>Pous poc profunds</b>	€€	€ (*)	És usual extreure aigua amb cubs o molinets, però es preferible una bomba.
<b>Pous profunds</b>	€€€	€€	Necessita manutenció de les bombes mecàniques.
<b>Aigües Pluvials</b>	€€	€	Aigua de poca qualitat mineral.
<b>Fonts naturals</b>	€	€	Necessita una font constant durant l'any.

*Taula 6 : Comparativa dels sistemes de captació d'aigua*



(\*) El cost de manteniment augmenta a €€ igual que els pous profunds si s'instal·la una bomba de tipus automàtic, enlloc d'una bomba manual.

Finalment, a mode gràfic, es pot veure en la següent imatge l'estat de les fonts d'aigua instal·lades per la entitat Busoga Trust:

- Més del 50 % de punts d'aigua són de tipus pou superficial, amb una bomba manual instal·lada.
- Més del 75% de fonts d'aigua funcionen plenament o a mode parcial.
- Quasibé totes les fonts d'aigua disposen d'un comitè que regula el seu ús (ja sigui total o parcial.)

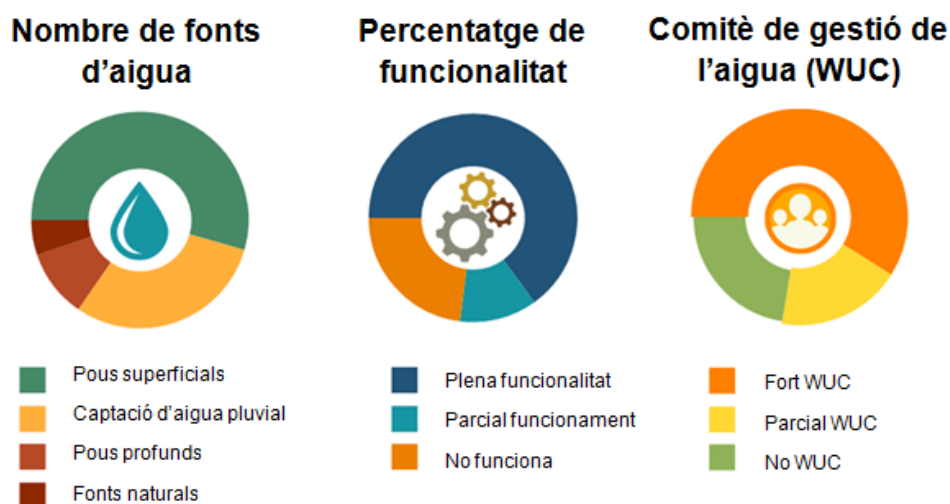


Figura 15 : Gràfic de l'estat de les fonts d'aigua instal·lades per Busoga Trust

## 6. Alternatives de disseny

### 6.1. Quantitat d'aigua que es necessita a l'escola Tapingwa

Fent referència al punt 5.2 d'aquest treball, Situació Objectiu, les bases del projecte esfera marquen les mínimes quantitats d'aigua per persona i dia per tal de garantir la supervivència en situacions extremes, com és el cas de les zones rurals d'Àfrica.

Seguint la normativa, es va arribar a la conclusió en el punt citat al paràgraf anterior que la quantitat d'aigua mínima de la que hauria de disposar l'escola són 4313 litres d'aigua al dia, per garantir la hidratació, la cuina, higiene i sanejament.

Per tant, doncs, aquesta és la dada de partida per tal de dissenyar un sistema d'abastiment d'aigua a l'escola Tapingwa: sabent que cada dia es necessiten 4313 litres d'aigua, s'ha d'estudiar quines alternatives hi ha per poder-ho aconseguir i escollir la que s'adapti més a l'entorn (tècnic, econòmic i social).

### 6.2. Alternatives d'extracció d'aigua

És en aquest punt del treball on s'ha de decidir quines opcions són viables per tal de poder extreure els 4313 litres d'aigua al dia. Per tal de fer-ho, cal estudiar la disponibilitat de cada recurs, per tal de veure d'on és més factible extreure'n l'aigua necessària.

Al voltant de l'escola només hi ha 4 possibles recursos per tal d'extreure aigua:

#### 1. Xarxa local d'aigua corrent

El punt de connexió més proper a l'escola d'aigua corrent correspon a la font d'aigua WS 3, indicada en el mapa a la secció 5.1.2 d'aquest treball. Aquest punt d'aigua està gestionat per la ONG Water Mission, i és un punt de distribució d'aigua potable (tractada prèviament) a les comunitats que vulguin obtenir aigua corrent. A part, però, és un punt d'aigua on també es poden omplir garrafes en cas d'emergència, com algun cop ha passat a l'escola Tapingwa.

Els preu d'obtenció d'aigua és els següent: omplir una garrafa d'aigua de 20 litres costa 100 Xílins (aproximadament, equival a 0,03 euros). El que implica que obtenir 4313 litres d'aigua diaris costa 21.565 Xílins (5,5 euros), el que suposa un total de 647000 Xílins mensuals (165 euros). Contant que el sou d'un professor de l'escola Tapingwa és de 110 €/mensuals, el cost que suposa agafar l'aigua necessària per viure del punt d'aigua 3 és

superior al salari d'un professor.

Cal mencionar, però, que en èpoques de sequera l'escola Tapingwa gairebé no té pressupost ni per omplir garrafes de 20 litres del punt d'aigua 3. Per tant aquesta possibilitat d'extracció d'aigua requereix un cost de manteniment alt, apart de la inversió inicial de construcció de tancs d'aigua i sistema de canonades que s'han d'instal·lar per tal de portar l'aigua a l'escola.

## 2. Pous poc profunds

Els pous poc profunds anomenats "Shallow Wells" són els recursos hídrics més utilitzat a Uganda. Només cal mirar el punt 5.3.5 d'aquest treball per veure que més del 50% dels recursos hídrics que s'utilitza al país són pous de menys de 30 metres accionats per una bomba manual.

En la zona d'estudi tenim 5 pous d'aquest tipus i, tal i com s'ha explicat a l'apartat 5.1.2, les distàncies a cada punt d'aigua varien des de 300 fins a 1800 metres. Normalment, el punt d'aigua que més s'utilitza és el WS 1 per proximitat. Els punts d'aigua 2,4 i 5 no es solen utilitzar ja que queden més lluny i a part són utilitzats per altres comunitats o per l'escola Lukhnu Muslim School, fet que podria generar enfrontaments entre les comunitats. Finalment, com ja s'ha comentat en la explicació de la xarxa local d'aigua corrent, hi ha el punt WS 3.

Per tant, doncs, seguint les tradicions que hi ha a Luuka, millor no intentar canviar els punts d'extracció d'aigua per tal de no ocasionar un conflicte social. Doncs la única possible opció és el WS 1.

El pou Water Source 1 és un pou de profunditat de 20 metres d'alçada (Confirmat pel coordinador del projecte Smiles for Luuka, Mateo) situat a 300 metres de l'escola creuant la carretera que uneix Iganga amb Busalamu. Els únics problemes que presenta és que sovint es troben excrements d'animals al costat del pou i el color de l'aigua un pèl turbit, però es perfectament potable. A continuació es mostren els anàlisis químics que s'han realitzat al pou:

pH (tester)	pH (pool kit)	Conductivity (mS/cm)	TDS (ppt)	ORP (mV)	Turbidity (NTU)	T(°C)
6,27	<6,8	0,29	0,15	245	<5	25,2

*Taula 7 : Mostra de dades presa el 08/08/2016 al pou WS1*

- El pH de l'aigua potable sol estar entre 6,5 i 9,5. En aquest cas el pH es troba en el llindar inferior, però es pren com a correcte, ja que és de l'únic que es disposa.
- La conductivitat de l'aigua és de  $290 \mu S/cm$  fet que es classifica com a aigua poc salobre, que vol dir que té més sals dissoltes però menys que l'aigua del mar. Igualment, però, es totalment apta pel consum humà.
- Pel que fa al nombre total de sòlids en suspensió (TDS), està expressat en parts per miler (parts per thousand). Si es fa la conversió de ppt a ppm, el resultat surt de 150 ppm. El límit superior que s'exigeix a la normativa EPA de reglaments ambientals, estableix un màxim de 500 ppm de TDS a l'aigua potable. Per tant, es pren com a correcte.
- El ORP és el potencial redox que mesura l'energia química mitjançant un electrode en mV. El valor que s'ha establert com a òptim per l'aigua potable és de 650 mV. En aquest cas, però, el valor de 249 mV és molt inferior al que se li demana, i per tant, això indica que té menor capacitat per eliminar contaminants externs. S'haurà de realitzar un procés de cloració per eliminar tots aquells contaminants que per sí sola no és capaç de fer-ho.
- Finalment, pel que fa la turbidesa no es poden extreure conclusions, ja que l'anàlisi que s'ha fet és molt senzill. Els valors aptes de turbidesa estan sobre 1 NTU, i per tant, que sigui inferior a 5 no indica gaire cosa.

En general, doncs, es pot concloure que l'aigua és apta pel consum humà sempre i quan se li apliqui un procés de cloració per desinfectar-la correctament.

### 3. Recollida d'aigües de pluja

La recollida d'aigües pluvials és una molt bona opció a Uganda, almenys pel que fa l'aspecte tècnic, ja els dies de pluja a la zona són molt freqüents tal i com es pot veure a l'apartat 5.3.2 d'aquesta treball. Extraient les dades que proporciona la gràfica en el punt citat, els dies de pluja mensuals, en mitjana, són els següents:

Mes	Gen.	Febr.	Març	Abr.	Maig	Juny	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Des
Dies	7	12	18	22	15	19	21	25	27	23	19	14

*Taula 8: Dies de pluja a l'any a Busalamu*

Si es fa la mitjana mensual de dies de pluja, surt un total de 18 dies, fet que afavoreix un disseny tècnic d'aquest tipus. D'altra banda, veient el gràfic també es pot observar que la precipitació mitja per mes ronda els 100 mm/m<sup>2</sup>, que es correspon a uns 100 l/m<sup>2</sup> mensuals.

La viabilitat d'aquesta tècnica, vindrà determinada per la disponibilitat que es tingui (en m<sup>2</sup>) per recollir l'aigua de pluja. Aquesta disponibilitat bàsicament serà la del teulat del edifici, ja que també es podria dissenyar un sistema que reculli i condueixi l'aigua als jardins de l'escola a nivell de terra però es necessitaria una bomba addicional per bombejar-la a un dipòsit, més un sistema de filtratge acurat per filtrar tant sòlids (sorra, pols, fulles, insectes, etc) com bacteries que puguin haver-hi a terra. En canvi, si el disseny es centra en la teulada del edifici estalviariem una bomba addicional, ja que es podria conduir l'aigua per gravetat, mentre que el sistema de filtració es necessitaria igual.

Per tant, per tal d'abaratir el cost del sistema, es pot estudiar la viabilitat d'implementar un sistema de recollida d'aigües pluvials al teulat de l'escola. El primer que cal saber, doncs, és la superfície del teulat:

Utilitzant l'escala del google maps, s'ha pogut calcular la superfície del teulat de l'escola, usant només els edificis que es mostren en la imatge de la pàgina següent.

El resultat total del càlcul de l'àrea és el següent:

$$\text{Àrea} = \text{longitud total edificis} \times \text{amplada} = 50 \times 12,5 = 625 \text{ m}^2$$



Figura 16: Superfície dels teulats de l'escola Tapingwa

Per tant, si es compte que la mitjana de litres mensuals en forma de precipitacions és de 100 l/m<sup>2</sup>, i el teulat té una superfície de 625 m<sup>2</sup>, el total de litres surt de 62500 litres d'aigua al mes.

S'ha de vigilar, però, els màxims i els mínims que dona l'estadística, ja que aquest volum d'aigua interessa que es mantingui uniforme durant tots els mesos de l'any. Usant les dades mostrades en forma de gràfic a l'apartat 5.3.2, l'evolució del volum d'aigua que es pot recollir mensualment és la següent:

Mes	Precipitacions (l/m2)	Dies de pluja	Litres totals	Litres per dia
<b>Gener</b>	60	7	37500	1250
<b>Febrer</b>	170	12	106250	3541
<b>Març</b>	90	18	56250	1875
<b>Abril</b>	130	22	81250	2708
<b>Maig</b>	80	15	50000	1666
<b>Juny</b>	100	19	62500	2083
<b>Juliol</b>	70	21	43750	1458
<b>Agost</b>	110	25	68750	2291
<b>Setembre</b>	115	27	71875	2395
<b>Octubre</b>	115	23	71875	2395
<b>Novembre</b>	130	19	81250	2708
<b>Desembre</b>	100	14	62500	2083

*Taula 9: Estudi dels litres d'aigua que es poden extreure de la pluja.*

Per tant, tal i com es pot veure a la taula, l'evolució dels litres de pluja obtinguts per les precipitacions no és constant, sinó que varien des de 106250 fins a 37500 litres (Gener i Febrer, respectivament). Sembla ser una tendència una mica peculiar, ja que d'un mes per l'altre es té un canvi considerable en les precipitacions a la zona, però es seguirà considerant així.

Si es considera el cas més desfavorable per la collita d'aigües pluvials s'ha de considerar el mes de Gener, amb un total de litres recaptats de 37500, que es corresponen (si es divideix entre 30 dies mensuals) a 1250 litres al dia.

Cal observar que amb aquesta dada ja es poden cobrir les necessitats bàsiques d'higiene i sanejament, ja que tal i com està explicat a l'apartat 5.2, es necessita un total de 1211 litres diaris: 1116 d'higiene més 95 de sanejament (Veure detall al punt 6.3).

Finalment, cal comentar que l'escola Tapingwa ja ha disposat d'un sistema de recollida d'aigües pluvials als teulats 1 i 2, però malauradament, va ser malmès per estudiants que tenien conflictes amb el director. Per tant, es pot concloure que el teulat ja està preparat per conduir i recollir l'aigua en un punt concret, simplement cal realitzar-ne els manteniments pertinents i tornar-lo a posar en marxa.

#### 4. Construcció de pou propi als jardins de l'escola

Hi ha una última opció a considerar en l'anàlisi d'alternatives que és la excavació d'un pou propi per l'escola Tapingwa situat en els seus jardins. Aquesta opció és hipotètica, ja que primer s'ha de comprovar si just sota de l'escola es disposa d'un aqüífer subterrani d'on poder-ne extreure aigua. D'aquesta feina se'n pot encarregar una ONG anomenada Water Aid o, si més no, l'entitat Busoga Trust, ja que aquesta exploració queda fora l'abast d'aquest treball de final de grau.

Es suposarà, per tant, que sí que hi ha la opció d'extracció d'aigua d'un aqüífer subterrani sota el domini de l'escola Tapingwa, opció que, si es portes a terme, estalviaria gran part dels conflictes socials que es puguin ocasionar deguda l'extracció d'aigua del punt WS 1.

El preu de construcció varia segons la mà d'obra, els materials usats i la profunditat del pou d'aigua. Tenint en compte aquestes variables, s'ha afirmat que el preu oscil·la entre 2.000 i 10.000 €. Si el pou s'excava a mà i s'utilitzen materials bàsics, doncs, el preu rondarà els 2.000 euros. En canvi, si el pou s'excava amb maquinària i materials de bona qualitat, amb revestiment a les parets, etc., seran uns 10.000 €.

Aquesta opció requereix un cost inicial elevat però cost de manteniment molt baix i, apart, s'estalviarien conflictes socials entre les comunitats veïnes, ja que el pou pertanyeria exclusivament a l'escola. Tot i així, a nivell social no es tant senzill, ja que les escoles veïnes reclamarien ajuda també, com ja va comentar el director de l'escola de primària Lukunhu i, a part, per tal de gestionar el pou s'ha de muntar un comitè de regulació, on el cap del districte de Luuka hi ha de formar part.

#### **6.2.1. Viabilitat de les fonts d'extracció d'aigua**

Per tal de prosseguir amb el desenvolupament del projecte s'han de comparar les fonts d'extracció d'aigua i verificar quines són viables i quines no:

Font\Viabilitat	Tècnica	Econòmica	Social	És viable?
<b>Xarxa pública</b>	Viable tècnicament.	Cost inicial assequible.  Cost de manteniment molt elevat. No és un sistema sostenible.	Tothom té accés a WS 3.  No ha de generar cap conflicte .	No
<b>Pous del voltant</b>	Viable tècnicament.	Cost inicial assequible.  Cost de manteniment baix. Sistema sostenible.	Pot generar algun conflicte amb els veïns.	Sí
<b>Aigües pluvials</b>	Viable tècnicament.  El sistema ja estava implantat a l'escola.	Cost inicial assequible.  Cost de manteniment baix.	En principi no ha de generar cap conflicte social.	Sí
<b>Construcció pou</b>	Viable tècnicament.	Cost inicial alt. Cost de manteniment baix.	En principi no ha de generar cap conflicte social.	Sí

*Taula 10: Comparació dels sistemes d'extracció d'aigua*

De totes les opcions viables mostrades a la taula anterior, cap d'elles és totalment suficient per mantenir durant tot l'any els 4313 litres d'aigua que necessita l'escola:

- En èpoques de sequera els aqüífers s'assequen i el pou no podrà proporcionar tota aquesta quantitat d'aigua.
- El sistema de captació d'aigües pluvials hi haurà mesos que tan sols podrà proporcionar 1250 litres d'aigua al dia.

Per tant, les úniques possibles opcions factibles són les següents combinacions:

- Extracció d'aigua del punt d'aigua WS 1 + Sistema de recollida d'aigües pluvials.
- Extracció d'aigua d'un pou dins l'escola + Sistema de recollida d'aigües pluvials.

### 6.3. Quantitat d'aigua que es destina a cada recurs

Com ja s'ha explicat al punt anterior 6.2 – Alternatives per extreure l'aigua, les dues alternatives viables per tal d'extreure l'aigua necessària per l'escola Tapingwa es componen



d'una primera part d'extracció d'un pou més una segona fase d'obtenció a partir de la pluja.

El que marcarà aquesta distribució és l'aigua de pluja, ja que és un esdeveniment que té una component aleatòria. Com ja s'ha explicat al punt 6.2, la mínima quantitat d'aigua de la que es pot disposar cada dia segons l'històric de precipitacions a Busalamu són 1250 litres al dia. Per tant, partint d'aquesta xifra, els serveis d'higiene i sanejament ja es poden cobrir, ja que se'n necessiten un total de 1211 litres al dia. A més, per realitzar aquestes dues tasques, no es requereix que l'aigua sigui estrictament potable, sinó que simplement estigui neta. Per tant, l'aigua de la pluja és perfecte per realitzar aquestes tasques, ja que és aigua neta i no necessitarà passar per un procés de potabilització.

Per altre banda, per tal d'arribar al mínim de 4313 litres que s'especifica al punt 5.2 d'aquest treball, encara resten 3102 litres. Aquesta quantitat, s'extraurà del pou (ja sigui del punt WS 1 o bé del pou propi dins de l'escola) i s'utilitzaran per la hidratació, neteja de mans i cuina.

A continuació es pot veure la taula amb les especificacions segons les necessitats bàsiques, i totes les unitats en litres/dia:

Necessitats bàsiques	Alumnes	Membres de l'escola	Total	Font d'extracció
Hidratació + mans	2088	54	2142	Pou
Higiene	1044	72	1116	Pluja
Sanejament		95	95	Pluja
Cuina	870	90	960	Pou
<b>Total</b>	<b>4313 litres d'aigua al dia</b>			

*Taula 11: Distribució de l'aigua entre les fonts de captació*

Per tant, el total es divideix en:

- Total de litres d'aigua que s'extrauran del pou diàriament: 3102 litres/dia
- Total de litres d'aigua que s'obtindrà de la pluja diàriament: 1211 litres/dia

## 6.4. Alternatives d'extracció d'aigua

Un cop s'ha determinat que s'ha d'extreure 3102 litres/dia d'un pou d'aigua, s'ha de veure quins sistemes hi ha que puguin extreure aquesta aigua, per tal d'estudiar-ne la viabilitat. La

viabilitat del sistema s'haurà d'estudiar conjuntament amb l'apartat 6.5 d'aquest treball, on s'estudien les alternatives dels sistemes de transport d'aigua.

- Extracció d'aigua del pou de forma manual

És la forma més clàssica d'extracció d'aigua a l'Àfrica Subsahariana, generalment mitjançant bombes manuals o bé cubells amb una nansa.



*Figures 17 i 18 : Extracció d'aigua amb una bomba manual.*

La bomba manual que hi ha instal·lada actualment al punt WS1 és una bomba de tipus India MK II, que proporciona un cabal de 12 litres/minut. Per tal d'aconseguir 3012 litres/dia els alumnes o els professors haurien de dedicar 251 minuts (entre 4 i 5 hores) a bombejar aigua cada dia. És per aquest motiu, apart de pel recorregut de 300 metres, pel qual només extreuen un total de 400 litres diaris, ja que es triga més de mitja hora per bombejar aquesta quantitat d'aigua.

Es pot arribar a la conclusió, doncs, que és inviable per l'escola tenir una persona 4 o 5 hores bombejant aigua des d'una bomba manual, ja que és una pèrdua de recursos, de temps i de diners, que és justament el que li fa falta a l'escola per millorar.

- Extracció d'aigua de forma automàtica

L'única opció, doncs, es bombejar aigua de forma automàtica, per tal d'agilitzar el procés d'extracció d'aigua i poder-ho combinar amb un sistema de transport fins a l'escola.

Primerament cal estudiar la viabilitat tècnica, on aquesta opció només serà viable si es pot aconseguir energia fàcilment (consultar punt 6.6 d'aquest treball).

Pel que fa a la viabilitat econòmica, el fet de bombejar aigua automàticament representarà un cost inicial per la compra del material necessari i el cost de manteniment anirà relacionat amb l'energia que s'utilitzi per accionar el sistema motor.

Finalment, pel que fa la viabilitat social, extreure aigua de forma autònoma pot generar un conflicte social amb les comunitats veïnes que també utilitzin el mateix pou: explotació del recurs, gestió de l'aigua, possibles assecaments, etc.



*Figura 19 : Extracció automàtica d'aigua des d'un pou.*

Per tant, per tal de saber si un sistema automàtic és viable, cal estudiar el transport de l'aigua, la disponibilitat energètica i l'emmagatzematge, explicat als punts 6.5, 6.6 i 6.7, respectivament.

## 6.5. Alternatives pel transport de l'aigua

Com ja s'ha comentat en punts anteriors d'aquest mateix treball, un dels grans problemes que pateixen les comunitats aïllades d'Àfrica és el fet d'anar a buscar aigua als pous: Es tracta d'una peregrinació diària de dones i nens cap als sortidors d'aigua per omplir les garrafes de 20 litres, amb tots els perills que això comporta: problemes de salut al carregar 20 Kg durant un llarg trajecte, pèrdua de temps que es podria usar per tasques més productives, perills d'atropellament i segrest dels alumnes, etc.



*Figures 20 i 21: Imatges d'extracció d'aigua a l'escola Tapingwa.*

Com ja s'ha vist al punt anterior d'aquest treball, extreure i transportar tants litres d'aigua al dia manualment és inviable. Si s'implementa un sistema automàtic per estalviar la feina de bombeig manual, el més raonable és dedicar una part de la energia que alimenta la bomba a transportar aquesta aigua fins a l'escola. De fet, com ja s'estudiarà a l'apartat 7 d'aquest treball, transportar l'aigua fins l'escola només requereix 70 Watts extres (si el pou està dins l'escola) o bé 340 Watts de potència extra (si s'utilitza WS1). El cost que pot suposar aquest increment de potència i la infraestructura que s'ha de dissenyar per portar l'aigua a l'escola és relativament baix, i compensa l'esforç dels alumnes que diàriament van a recollir aigua als pous.

### 6.5.1. Disponibilitat de materials pel subministrament d'aigua

Per tractar aquest apartat s'ha d'analitzar la normativa vigent durant l'any 2016 a Uganda, sobre requeriments i restriccions a l'hora d'usar materials pel subministrament d'aigua.

La normativa que aplica al país que s'està tractant és la UNBS, i els articles que tracten els materials per el subministrament d'aigua són: l'article 1067 US 907:2011, 1294. US ISO 6804:2009 i l'article 882. US 264-1:2001/EAS 182-1 del document "*Uganda Standards Catalogue*" vigent del dia 30 de Juny de l'any 2016.

Aquestes normatives especifiquen que els materials que es poden usar pel subministrament d'aigua potable són el polietilè, l'alumini i el U-PVC, anomenat PVC sense plastificar. A més, aquests articles regulen les especificacions i regulacions tècniques; com ara el gruix, pressió màxima, etc.

De fet, tots els catàlegs dels fabricants i distribuïdors de materials de la zona propers a l'escola tenen en estoc els materials: HDPE (polietilè d'alta densitat) i U-PVC (PVC sense plastificar).

Per tant, tant per normativa com per disponibilitat, s'ha d'escollir un d'aquests dos materials per tal de poder dissenyar un sistema d'extracció d'aigua automàtic.

#### Característiques del HPDE:

- Alta flexibilitat: Es pot doblegar fins a un radi mínim de 40 vegades el seu diàmetre. Aquesta flexibilitat redueix la necessitat de incorporar accessoris i la possibilitat de rodejar objectes, per tant, disminueix el cost de la instal·lació.
- Esperança de vida de 50 anys transportant aigua a una temperatura mitja de 30 °C.

- Es pot instal·lar a l'aire lliure, ja que el HPDE no pateix danys degut a la radiació UV del sol.
- Els tubs es solen unir mitjançant fusions per calor. No obstant això, aquests elements també es solen unir amb unes unions anomenades “sockets”, on el final d'una tuberia s'adapta al principi de l'altre i creen unions perfectes. Per tant, es un sistema molt fàcil d'unir i barat.
- El preu mig varia 1,40 i 2,80 €/100 metres, depenen del diàmetre (pressupost per diàmetres d'entre 20 i 50 mm amb pressió màxima 1MPa.)
- La rugositat absoluta és de 0,007 mm
- És reciclable (número 2 en el codi de reciclabilitat dels plàstics)

#### Característiques del U-PVC

- És molt usat a Uganda en temes de subministrament d'aigua potable i en instal·lacions d'extracció d'aigua bruta/sanejament.
- Té molt bona resistència a la corrosió i als productes químics.
- Unions amb “socket”, com el material HPDE.
- No es creen acumulacions de sediments.
- Es pot instal·lar al aire lliure, ja que té bona protecció contra els rajos UV del sol.
- Superfície interior llisa amb rugositat absoluta d'entre 0,0015 i 0,003 mm.
- El preu d'un tub de PVC sense plastificar ja és més car, on aproximadament 20 peus (6 metres) valen 10 €.
- No és biodegradable però si es pot reciclar.

Degut a les bones prestacions que ofereixen ambdós materials, és complicat escollir una de les dues opcions. En aquest cas, però, s'utilitzarà el **HPDE** degut principalment a que és més econòmic que el U-PVC. A més, té una baixa rugositat absoluta (disminuirà les pèrdues de càrrega) i sobretot, es pot reciclar de moltes diverses formes, com ara en tubs, ampolles, mobles, etc. Finalment, s'abaratirà el cost de la instal·lació ja que no cal comprar unions específiques (s'uniran els tubs amb “sockets”) i al ser flexible no caldrà posar colzes rígids, que generaran més pèrdues de càrrega singulars.

En total, per portar l'aigua del punt 1 (WS1) fins a l'escola es necessitaran uns 340 metres de tub, aproximadament. D'altre banda, però, si es vol portar aigua des d'un pou propi es necessitarà uns 90 metres de tub. El pressupost per la primera opció oscil·larà sobre els 7 euros, i en canvi, la segona opció sortirà per un cost que rondarà els 2 euros.



## 6.6. Disponibilitat energètica

- Energia elèctrica:

L'accés a l'energia elèctrica a Uganda està molt restringit a la indústria, on només el 11% de la població té accés a l'electricitat en front del 15% a Kènia i un 98% a Malàisia. A més a més, el cost del kWh a Uganda és un dels més cars d'Àfrica, amb un preu de 150 xílings Ugandesos, que equival a 0,04 cèntims d'euro (dada proporcionada per la entitat Umeme, per l'any 2016. Preu vàlid només pels 15 primers kWh del mes, a partir d'allà són 651 xílings/kWh que són 0,17 cèntims d'euro). Aquest preu tant elevat en un país tant pobre és degut a la baixa capacitat que té el país per generar electricitat i distribuir-la a través d'una xarxa de distribució.

- Biomassa:

La biomassa com a font energètica és bàsicament utilitzar el recurs de la matèria orgànica com a energia renovable. Es pot utilitzar des de restes de fusta fins a desfets de les activitats de l'agricultura (ossos d'oliva, closques dels fruits secs, etc).

La biomassa representa el 94 % de consum energètic del país, on es diferencia principalment amb dos nuclis: les zones rurals i les zones urbanes. El carbó vegetal és principalment utilitzat a les zones urbanes, mentre que a les zones rurals s'utilitza la llenya i les sobres de fusta. Aquesta energia s'utilitza sobretot en estufes, com ara l'anomenat "Sigiri" que és una estufa metàl·lica alimentada tant amb llenya com amb carbó utilitzada a les zones rurals. Tot i així, la eficiència energètica d'aquestes estufes i aquestes conversions de matèria a energia tenen un rendiment molt baix.

De fet, en la major part dels casos, la biomassa no s'utilitza en un procés per aconseguir energia elèctrica a Uganda. La major part d'aquesta font energètica s'utilitza per cuinar i per escalfar-se mitjançant estufes. Només una petita part industrial utilitza la biomassa per aconseguir energia elèctrica: l'indústria del sucre, amb un procés de cogeneració.

- Hidroelèctrica:

L'energia hidroelèctrica és un recurs força utilitzat a Uganda, ja que el país té una gran quantitat de rius i afluents que entren i surten del llac Victòria. Actualment, el país genera un total de 822 MW de potència amb energia hidroelèctrica, produïda principalment per l'estació Owen Falls Hydropower, situada a Jinja.

Tot i que és un recurs que aniria genial utilitzar a l'escola per produir energia elèctrica, no es podrà implementar un sistema d'aquestes característiques ja que no es disposa d'un riu o rierol pels voltants de l'escola on poder-hi instal·lar una turbina de petites dimensions.

- Energia Solar

El país d'Uganda té una radiació solar incident molt constant durant tot l'any ja que es situa just al tròpic. La mitjana del país és de 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/dia, on la variació anual màxima de radiació entre els valors més elevats i els mínims es tant sols d'un 20%.

El govern ha promogut la utilització d'aquest recurs a les zones rurals més aïllades per tal de que tothom pugui disposar d'electricitat, mitjançant el projecte "*Uganda Photovoltaic Pilot Project for Rural Electrification*".

En concret, com ja s'ha estudiat a l'apartat 5.3.3, a l'escola Tapingwa es disposa d'un valor mitjà de 5,86 kWh/m<sup>2</sup>/dia amb un angle del panell fotovoltaic de 1º. Com es pot veure, les condicions són més que bones, amb 0,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia superior a la mitja del país. Per tal de veure si aquest recurs es pot utilitzar correctament, s'ha de fer un estudi del cas extrem, quan es tingui menys radiació. En aquest cas, el mínim està a 5,23 kWh/m<sup>2</sup>/dia, on aquest valor mínim continua estant per sobre la mitja del país.

Per tant, doncs, es considera un recurs vàlid per la obtenció d'energia elèctrica a l'escola Tapingwa. A part, és un recurs renovable, gairebé sense cost de manteniment i acceptat per l'entorn social, ja que segons han confirmat els membres de l'escola Tapingwa, és un recurs que s'utilitza força al districte de Luuka.

- Energia Eòlica

Finalment, per tal d'acabar amb els recursos energètics, s'ha d'estudiar l'energia eòlica. Aquesta energia si que es força utilitzada a Uganda, sobretot a les zones de grans extensions i properes al llac Victòria, on la corrent d'aire es major.

Com s'ha vist al punt 5.3.4, els nivells de vent són insuficients per fer moure un molinet de vent durant tots els mesos de l'any i per tant no és un recurs viable per l'obtenció d'energia elèctrica a l'escola Tapingwa.

Finalment, i a mode conclusió, l'únic recurs tècnicament, econòmicament i socialment apta per ser implantat a l'escola Tapingwa, és l'energia solar fotovoltaica.

## 6.7. Condicions de bombeig des del pou fins a l'escola

Un cop estudiada la disponibilitat energètica cal saber quina quantitat d'aigua es vol extreure del pou a diari i amb quant de temps es vol portar a l'escola. Així doncs, com ja hem vist al anterior apartat 6.6, el millor i òptim recurs és l'ús d'energia solar com a font d'electricitat per la bomba automàtica. Per tant, aquest dilema es pot solucionar pràcticament amb un estudi meteorològic, proporcionat a l'apartat 5.3 d'aquest treball.

Analitzant el punt 5.3.2, es pot veure que la mitjana mensual de dies de pluja són 18 dies de cada 30, però normalment són xàfecs temporals, el que no vol dir que les 24 hores del dia estigui plovent. Tot i així, per tal de donar un marge de seguretat al sistema, es suposarà un total de 20 dies de pluja de cada 30, i durant aquests 20 dies es suposarà que no hi haurà ni una esclatxa de sol. Així doncs, els dies de sol que es poden aprofitar per emmagatzemar energia, i per tant, bombejar aigua, en són 10.

Com la meteorologia és un fenomen aleatori, es suposarà que els 10 dies de sol queden ben repartits durant el mes i, per tant, es podrà emmagatzemar energia i bombejar aigua 1 de cada interval de 3 dies (30 dies del mes / 10 dies de sol). Si s'ha vist que del pou s'extrauran 3102 litres diaris, d'una tacada s'hauran de bombejar 9306 litres per una reserva de 3 dies.

D'altre banda, encara se li donarà un marge de seguretat extra i es suposarà un interval de sol curt en el temps. En mitjana es compten 12 hores de sol durant un dia a Uganda, i aquest valor es manté constant durant tot l'any, ja que es situa just sobre l'equador. Per tant, un valor de 6 hores de sol (des de les 9 del matí fins les 15 de la tarda) per dia assolit ha de ser suficient per tal de carregar la bateria i aconseguir una reserva d'aigua de 3 dies.

Finalment, s'ha d'estudiar amb quant de temps es pretén portar aigua a l'escola. Un volum de 9,306 m<sup>3</sup> d'aigua no és un volum extremadament gran, i un valor comprès en un rang d'entre 1 i 6 hores serà suficient per transportar aquesta aigua. A continuació es pot veure la distribució de cabals en funció de la quantitat d'hores de funcionament.

Hores	1	2	3	4	5	6
<b>Cabal (l/s)</b>	2.58	1.29	0.86	0.65	0.52	0.43

*Taula 12: Distribució del cabal en funció del temps de funcionament.*

Si s'escull un valor central com ara 4 hores de funcionament amb un cabal de 0,65 l/s ja és un valor correcte per què la bomba no tingui una potència molt elevada i transporti l'aigua amb relativa rapidesa. Aquesta potència de la bomba va relacionada amb el cabal; per exemple, si enlloc de bombejar l'aigua en 4 hores es vol bombejar en 2, la potència que es



necessita es multiplica per 1,8, fet que encareix el cost total de la instal·lació.

Per tant, 4 hores de temps per bombejar els 9306 litres amb un cabal de 0.65 litres/segon i 6 hores (com a màxim) per carregar les bateries, seran les dades que es prendran com a criteris de disseny pel disseny de la instal·lació en apartats posteriors.

## 6.8. Alternatives per l'emmagatzematge d'aigua

En les zones rurals de l'Àfrica s'estilen diversos tipus de dipòsits d'aigua, dividits per la seva situació respecte el nivell de terra. Hi ha els dipòsits enterrats, a nivell de terra i alçats.

### Dipòsit alçat

La opció de dipòsit alçat és una opció molt utilitzada a Uganda a les zones rurals, tant en cases, escoles com petits comerços. És una opció força econòmica ja que un cop es disposa de l'aigua a una certa altura  $h$ , es pot distribuir sense necessitat d'una bomba, sols aprofitant l'energia potencial gravitatòria.



*Figura 22: Exemple de dipòsit alçat amb panells solars.*

El cost d'un dipòsit de HPDE varia en funció dels litres que pugui emmagatzemar. A Uganda, el preu d'un tanc de 250 litres costa, aproximadament 125000 xílins, que són uns 32 euros i mig. D'altra banda, els proveïdors de la zona també distribueixen dipòsits d'aigua fins als 10.000 litres de capacitat, preu que ronda dels 3.000.000 xílins Ugandesos, que equival, aproximadament a uns 800 €. Aquests pressupostos han estat obtinguts directament de fabricants i distribuïdors de tancs d'aigua a Uganda, com ara les empreses Smile Tank i Crest Tank, ubicades a Kampala.

El tanc alçat es pot situar sobre la coberta del edifici o bé, depèn del pes, sobre una plataforma especial metàl·lica o de fusta.

### Dipòsit a nivell de terra

Els dipòsits a nivell de terra normalment són utilitzats puntualment, per períodes de temps curts: en casos d'emergència com campaments de refugiats o desastres naturals. Normalment aquests sistemes estan desprotegits, i estan sotmesos a possibles actes vandàlics que els facin malbé, com ja s'ha donat el cas a l'escola.

Hi ha varis tipus, com ara els dipòsits tipus onion o bladder, que són com piscines inflables que emmagatzemen aigua. La part més interessant és que normalment aquests venen amb kits de reparació, en cas d'esquerdes o fuites al dipòsit. El preu d'un dipòsit bladder d'uns 10.000 litres ronda entre els 600 i els 700 euros, més econòmic que un de rígid.

D'altra banda, però, es requereix d'una bomba per moure l'aigua, ja que en aquest cas no es pot distribuir per gravetat.



*Figura 23: Dipòsit de tipus onion*

### Dipòsit enterrat

Els dipòsits enterrats poden ser de tipus bladder o dipòsits rígids, amb la peculiaritat que queden totalment protegits davant d'actes vandàlics. Es necessita una bomba (més potent que si es tingués un dipòsit a nivell de terra) per tal de portar l'aigua a l'edifici.

#### **6.8.1. Emmagatzematge de l'aigua provinent del pou**

L'aigua que provindrà del pou és la que s'utilitzarà per cuinar, beure i netejar-se les mans. És una aigua que interessa tenir-la les 24 hores del dia disponible ja que en qualsevol moment pot interessar utilitzar-la. Les opcions disponibles són les següents:

- Dipòsit alçat i distribució per gravetat.
- Dipòsit enterrat o a nivell de terra i utilització d'una bomba per impulsar l'aigua.

En primer lloc cal tenir en compte que si es vol utilitzar un dipòsit alçat, s'haurà de requerir d'una plataforma especial per suportar el dipòsit a una certa altura: el teulat de l'escola Tapingwa no està preparat per suportar un dipòsit d'aigua de 10.000 litres (10.200 Kg de pes entre aigua i dipòsit), i probablement s'ensorraria amb aquesta carrega extra.

D'altra banda, i com és lògic, si es vol usar un dipòsit que no funcioni per gravetat, la bomba haurà de ser de tipus automàtic ja que la demanda d'aigua d'aquest dipòsit serà elevada i continua. Com la demanda tindrà aquestes característiques, s'haurà de disposar d'unes altres bateries que emmagatzemin part de l'energia solar i subministrar-la en qualsevol moment.

Finalment, pel cas del dipòsit d'aigua provinent del pou es descarta l'opció del tanc a nivell de terra, ja que els dipòsits que s'utilitzen són de plàstic i és un sistema que queda desprotegit davant d'actes vandàlics, seria fàcil de robar o d'estripar.

Les dades pel tanc d'aigua es prendran del fabricant i distribuïdor "Crestank", on el dipòsit de 10.000 litres té unes dimensions de 2,39 m de diàmetre i 2,71 m d'alçada. El preu exacte és de 3.000.000 UGX, que equival a 783 € (Codi del producte: CV – 1000C).



*Figura 24 : Dipòsit Crestank*

Per tant, les opcions a estudiar són:

- Opció A: Dipòsit alçat (plataforma).
- Opció B: Dipòsit enterrat (bateries + bomba)

#### Opció A (Dipòsit alçat):

El pressupost de la opció A vindrà donada per l'alçada a la que s'ha de situar el dipòsit. Aquesta alçada, que representa l'energia potencial, s'acabarà transformant en energia cinètica a la sortida de les aixetes, que és al cap i a la fi, el que interessa.

Com encara no s'ha dissenyat quins trams tindrà la xarxa de distribució d'aigua i, per tant, no es poden calcular les pèrdues de càrrega lineals i singulars, es suposarà que la suma d'aquestes pèrdues arriba a un 20% de l'energia que es dona amb l'alçada del dipòsit.

Utilitzant el principi de Bernoulli, per calcular la velocitat a la sortida de l'aixeta amb unes condicions més desfavorables, s'obté:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f$$

Prenent com a punt 1 la superfície lliure del dipòsit, i el punt 2 l'extrem de l'aixeta, els termes de  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $v_1$  i  $z_2$  són 0, i  $h_f = 0,2 z_1$ , s'obté:

$$v_2 = \sqrt{2g0,8z_1}$$

Sabent que la secció d'una aixeta convencional de diàmetre 30 mm és de  $7,06 \text{ cm}^2$ , es pot calcular els cabals de sortida

Diferència de cotes (m)	1	2	3	4
Velocitat de sortida (m/s)	3,96	5,6	6,86	7,92
Cabal (l/s)	2,8	3,96	4,85	5,6

*Taula 13: Relació entre altura de la plataforma i el cabal de sortida*

Escollint una diferència de cotes de 3 metres ja es pot comprovar que n'hi ha més que suficient per què l'aigua surti amb un cabal adequat, ja que posteriorment serà regulat amb una vàlvula per obtenir el cabal desitjat per l'usuari.

Si es tria una diferència de cotes de 3 metres entre la superfície del dipòsit i l'aixeta (a 0,8 metres del terra) implica que la plataforma ha d'estar elevada tan sols 1,5 metres de la superfície de terra, ja que el dipòsit mesurarà 2,71 metres d'alçada.

Per tant, si el dipòsit es fa oscil·lar entre 2,7 i 0,2 metres d'alçada, que corresponen a les capacitats de 10 i  $0,7 \text{ m}^3$ , respectivament, les velocitats extremes que s'obtidran amb els respectius cabals són:

Nivell màxim: 7,3 m/s i 5,1 l/s

Nivell mínim: 3,75 m/s i 2,6 l/s

Aquest càlcul ha estat realitzat per establir un ordre de magnitud i és totalment orientatiu, on s'ha suposat que les pèrdues de càrrega són el 20% de l'energia total disponible. Aquest càlcul es referà quan es sàpiga exactament on es distribueix l'aigua del dipòsit i quines pèrdues de càrrega es tenen.

Per tant, l'altura que ha de tenir la torre que suporta el dipòsit ha d'estar a 1,5 metres d'alçada, longitud amb la qual ja es satisfan les necessitats del projecte.

A part, però, com ja es veurà en els càlculs realitzats al punt 7 d'aquest treball, per cada metre que s'incrementa la torre, la potència de la bomba es multiplica per 1,018. Per tant, es tracta d'un balanç on s'ha d'aconseguir una opció econòmica (menys potència de bomba) amb una bona distribució de cabals per subministrar a l'escola.

El pressupost d'aquesta opció està compost pel preu de la torre, que oscil·la entre els 1.000 i els 2.000 euros, i el dipòsit de 10.000 litres, d'un pressupost de 800 euros. Per tant, es suposarà un preu mitjà de 2.300 euros pel sistema complet.

#### Opció B (Dipòsit enterrat):

Si es vol implementar l'opció B, es requereix una altra bomba i una bateria addicional o bé d'una altra de més capacitat que apart de subministrar energia a la bomba del pou, subministri a aquesta bomba del dipòsit.

Suposant que el dipòsit estigui enterrat a 1 metre de la superfície de terra, amb una distància no superior a 50 metres de l'aixeta i un cabal mínim de 0,1 l/s, es necessita entre 40 i 50 Watts de potència de bomba, preu que oscil·la 40 i 80 euros. A part, les mínimes bateries que proporcionen aquesta potència valen uns 100 euros.

El cost total i aproximat sortiria per uns 950 €, aproximadament, si es compta el preu del dipòsit d'aigua.

#### Selecció del dipòsit

Tot i que econòmicament no sigui la millor opció s'opta per l'opció de dipòsit alçat (A), ja que és una opció que funciona per les lleis de la física i segur que no s'espallarà. En canvi, l'opció B és una opció tècnicament més complexa, hi ha més cost de manteniment i és més difícil de reparar en cas d'averia. Per tant, com el que es tracta és de dissenyar una instal·lació senzilla amb el menor cost de manteniment possible, s'opta per l'opció A de dipòsit alçat.

### **6.8.2. Emmagatzematge de les aigües pluvials**

El dipòsit d'aigües pluvials es més senzill de calcular, ja que aquest dipòsit només subministrarà aigua per la neteja de latrines i la higiene íntima.

Com es pot veure a l'apartat 5.3.2 d'aquest treball, el màxim registre de precipitacions a Uganda es produeix sobre la època del mes de Febrer, on en una mitja de 12 dies cauen 170 litres/m<sup>2</sup>. Com ja s'ha mostrat a l'apartat 6.2 d'aquest treball, es poden recaptar com a màxim un total de 106.250 litres durant aquests 12 dies d'intensa pluja. Fent la divisió, es pot veure que el total de litres que es poden recaptar a la teulada de l'escola en un dia d'intensa

pluja arriba fins a 8854 litres. Fent la hipòtesis que plou durant 3 dies consecutius a màxima intensitat, es poden recaptar prop de 26500 litres d'aigua, mentre que només se'n extrauran un total de 1211 litres al dia (3633 litres als 3 dies).

En condicions extremes i a disponibilitat il·limitada de pressupost, el dipòsit hauria de ser capaç d'emmagatzemar un total de  $26500 - 3633 = 22867$  litres d'aigua.

Essent optimistes, això només passarà com a molt 12 dies a l'any, i no val la pena comprar un dipòsit d'aquestes dimensions per tan sols aprofitar-lo durant un 3% dels dies l'any. És per això que s'instal·larà un altre dipòsit de 5.000 litres amb una reserva per 4 dies, com el que ja hi havia hagut a l'escola anteriorment i, de fet, encara hi ha una plataforma de ciment alçada de 50 cm per col·locar la base del tanc.

Antigament, aquest tanc va ser perforat, però actualment les mesures de seguretat han augmentat i s'ha posat un vigilant al recinte de l'escola. Els tancs d'aigües pluvials que es posen a la zona són de formigó, i van enganxats a terra. Per tant, aquest tipus de tanc no es pot robar i, amb la protecció del vigilant, s'evitarà que es perfori i es faci malbé un altre cop.



*Figura 25: Dipòsit d'aigües pluvials a Uganda.*

Si cal, també pot ser precís comprar garrafes d'aigua noves per tal de distribuir l'aigua per les latrines i ajudar a la neteja anal i a la menstruació. El preu de les garrafes de 20 litres és de 8000 xílins (2,06 euros), i les de 10 litres valen 4000 xílins (1,04 euros).

El preu exacte d'implementar aquest sistema de recollida d'aigües pluvials a l'escola Tapingwa és de 3.091.000 ugx, que equival a 807 €. Aquest pressupost ha estat proporcionat per l'entitat *Amigosolidarios*, on s'ha proporcionat el preu de compra i mà d'obra de tots els materials per construir un tanc d'aigües pluvials de 5.000 litres. De fet, fa referència a un tanc d'aigua ja construït a l'escola de primària NEFAHA a Uganda, durant l'any 2014. Es va construir un tanc igual que el que s'implementarà a l'escola Tapingwa però del doble de capacitat.



L'estructura del tanc d'aigua és igual al de la imatge següent, que és un exemple de tanc d'aigües pluvials de 23 m<sup>3</sup> de capacitat:

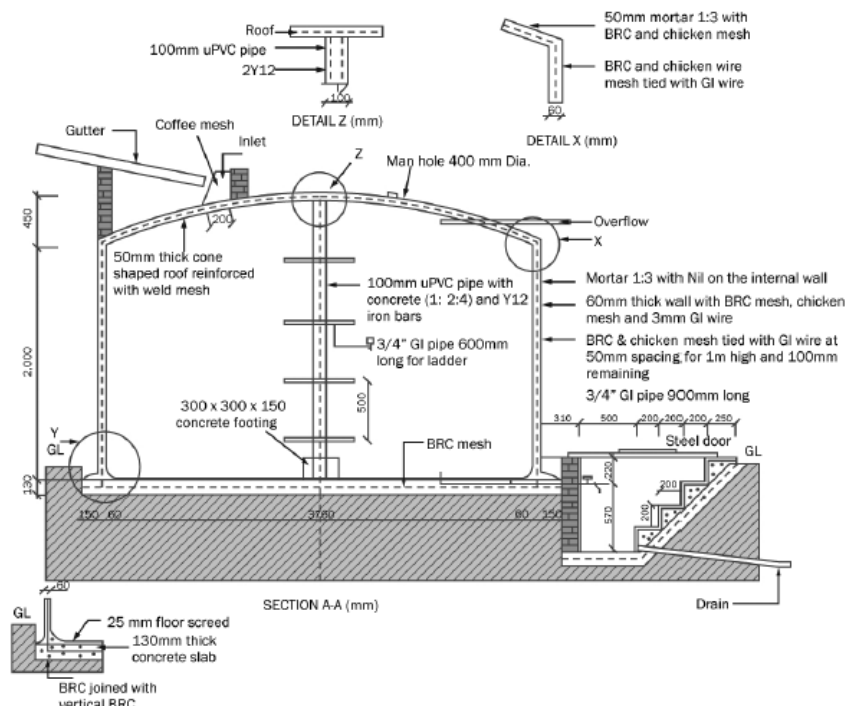


Figura 26: Estructura d'un tanc d'aigües pluvials de 23 m<sup>3</sup> de capacitat.

El dipòsit d'aigües pluvials tindrà 1 metre d'alçada i 2,5 metres de diàmetre. Aplicant el principi de Bernoulli, es pot determinar la velocitat amb la que sortirà el raig d'aigua per l'aixeta:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Prenent com a punt 1 la superfície del dipòsit, i el punt 2 l'extrem de l'aixeta (cota 0 m), els termes de  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $v_1$  i  $z_2$  són 0, i per tant, s'obté:

$$v_2 = \sqrt{2gz_1}$$

Si l'aixeta estarà a 0,3 metres de la base de ciment (de 0,5 metres) i el dipòsit oscil·la entre 0,9 i 0,4 metres d'alçada, les velocitats que s'obtenen en els casos extrems són entre 3,43 m/s i 1,4 m/s.

Considerant l'aixeta de diàmetre 30 mm, els cabals són, respectivament 2,42 l/s i 0,98 l/s.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Aquest càlcul es referà a l'apartat 8.1.2.2 tenint en compte les pèrdues de càrrega singulars.

## 6.9. Recull d'alternatives possibles

A continuació, i com a recull de tota la informació que s'ha recaptat a l'apartat 6 d'aquest treball, es presenten totes les alternatives en una taula on s'indica si és viable. L'alternativa només es prendrà per bona si i només si les tres viabilitats (tècnica, econòmica i social) són positives.

Fase	Alternativa	Viabilitat tècnica	Viabilitat econòmica	Viabilitat social
Extracció d'aigua	Xarxa pública	Sí	No	Sí
	Pous del voltant	Sí	Sí	Sí
	Recollida d'aigua de pluja	Sí	Sí	Sí
	Construcció d'un pou propi	Sí	Sí	Sí
Transport d'aigua	Manualment	No	Sí	No
	Automàticament	Sí	Sí	Sí
Obtenció d'energia	Elèctrica	Sí	No	Sí
	Biomassa	No	Sí	Sí
	Hidroelèctrica	No	Sí	Sí



	Solar fotovoltaica	Sí	Sí	Sí
	Eòlica	No	Sí	Sí
Emmagatzematge d'aigua	Dipòsit alçat	Sí	Sí	Sí
	Dipòsit enterrat	No	Sí	Sí

Taula 14: Recull d'alternatives possibles.

Un cop s'han analitzat totes les alternatives i les seves possibles combinacions, es pot concloure que els únics sistemes viables per implementar a l'escola són els següents:

- 1) Extracció de WS1 + Aigües pluvials → Transport automàtic (Bomba hidràulica) → Alimentada per energia solar fotovoltaica → Emmagatzematge amb un dipòsit alçat → Distribució per gravetat.
- 2) Extracció d'un pou propi + Aigües pluvials → Transport automàtic (Bomba hidràulica) → Alimentada per energia solar fotovoltaica → Emmagatzematge amb un dipòsit alçat → Distribució per gravetat.

Per tant, doncs, s'estudiaran els dos sistemes per separat per tal de proporcionar a l'ONG les dues solucions possibles que es poden implementar a l'escola Tapingwa.

## 7. Càlcul de la bomba per cada alternativa

### 7.1. Sistema de bombeig del pou al dipòsit

Per tal de calcular la quantitat d'energia necessària per bombejar aigua del pou a l'escola, s'ha de fer un estudi hidràulic contemplant totes les alternatives mostrades a l'anterior punt 6.9:

Opció	Distància fins l'escola	Profunditat del pou	Dipòsit Alçat
Extracció de WS 1	300 metres	20 metres	1,5 metres
Extracció de pou propi	50 metres	20 metres	1,5 metres

*Taula 15: Distàncies a considerar pel càlcul de la bomba.*

#### 7.1.1. Extracció d'aigua des del punt d'aigua Water Source 1



*Figura 27: Situació del pou WS1 respecte l'escola Tabingwa*

Per tal de realitzar el càlcul hidràulic s'utilitzarà tota la informació estudiada a l'apartat 6 d'aquest treball, on s'ha estudiat cada alternativa per fases (extracció d'aigua, transport i emmagatzematge) seleccionant-ne la millor opció.

En primer lloc, tal i com s'ha estudiat anteriorment, es bombejarà una quantitat de 9306 litres

d'aigua cada tres dies, i aquest bombeig es realitzarà durant 4 hores de temps. El cabal ( $Q$ ) a bombejar és, doncs, de 0,65 l/s.

La velocitat del fluid s'ha d'escollir amb cautela, ja que les pèrdues de càrrega depenen de la velocitat del fluid al quadrat i per tant, s'ha de procurar tenir una velocitat propera a 1 m/s per no influir en les pèrdues d'energia. Així doncs, la velocitat s'ha escollit de  $v = 1,2$  m/s.

La secció útil es pot calcular com  $\frac{Q}{v} = 0.000541667 \text{ m}^2$ , obtenint un radi ( $r$ ) de 13,13 mm i per tant 26,26 mm de diàmetre ( $D$ ). Es pren, doncs, el diàmetre estandarditzat més proper que és el d'una polsada: 25,4 mm.

Les canonades estaran fetes de polietilè d'alta densitat, amb un coeficient de rugositat absolut de  $\varepsilon = 0,007$  mm. Per tant, el coeficient de rugositat relatiu surt de l'operació  $\varepsilon/D = 0,00027559$ .

La densitat de l'aigua a 20 °C de temperatura és de  $\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$ . La viscositat dinàmica de l'aigua a aquesta mateixa temperatura és de  $\mu = 0,0011 \text{ (N·s)/m}^2$ . Per tant, per tal de saber en quin règim s'està treballant s'ha de calcular com el nombre de Reynolds,  $Re = (\rho \cdot D \cdot v)/\mu = 28656$ . En aquest cas, com el Reynolds és superior a 2000, s'està treballant en règim turbulent.

D'altra banda, per tal de calcular la potència, s'ha de saber quines són les distàncies del cas d'estudi. El pou té una fondària de 20 metres i per tant, es col·locarà la bomba a  $h_1 = 25$  metres d'alçària, per tal de deixar un marge de seguretat. D'altre banda, la distància del pou a on es col·locarà la torre es considera de  $l = 300$  metres. Tot i que aquesta distància és la que hi ha des de l'escola fins el pou, es considera que la torre es col·locarà a prop de l'escola i, per tant, es pot prendre el mateix valor de distància. En últim lloc, es considera que el pendent és del 3 % i hi ha un desnivell de  $h_2 = 9$  metres entre el pou i l'escola, a més de l'altura del dipòsit  $z = 1,5$  metres.

Un cop sabudes totes les variables del cas d'estudi, s'ha de calcular les pèrdues de càrrega de la instal·lació.

Per la llei de Darcy-Weisbach es poden obtenir les pèrdues de càrrega lineals ( $h_f$ ) a partir de

l'expressió següent: 
$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5}$$

El primer que s'ha de calcular és el valor de  $f$ , a partir de l'àbac de Moody. Les dades que s'introdueixen al programa són el número de Reynolds de 28650 i la rugositat relativa de

0,0002755, ambdós paràmetres adimensionals.

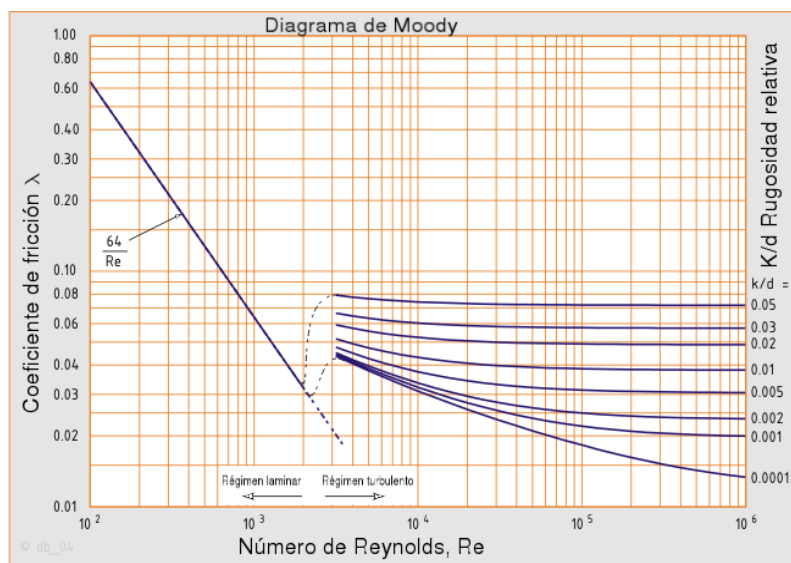


Figura 28: Àbac de Moody.

Com es pot veure a l'àbac, el valor de coeficient de fricció que en resulta és de  $f = 0,025$ .

Finalment s'ha de calcular la longitud de tuberia (L) que és pot calcular com: altura del pou  $h_1$  (25 metres) més la distància a l'escola de  $l = 300$  metres, més l'altura del dipòsit  $z = 1,5$  metres:  $L = 326,5$  metres.

Per tant, substituint a l'equació de Darcy-Weisbach, les pèrdues de càrrega lineals són de

$$h_f^{lin} = \frac{f \cdot 8 \cdot L \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} = 22,84 \text{ metres.}$$

No obstant, en una instal·lació hidràulica les pèrdues de càrrega lineals no són les úniques que existeixen, també hi ha les pèrdues de càrrega singulars, on es produeix una caiguda de pressió focalitzada. Hi ha pèrdua de càrrega singular a diversos llocs, com per exemple: vàlvules, reducció i eixamplament de les tuberies, colzes, entrades a dipòsit, etc.

En aquesta instal·lació es consideraran les següents càrregues singulars, amb els seus respectius coeficients de pèrdua de càrrega singulars (k):

- 3 vàlvules totalment obertes per poder tancar el circuit en cas de manteniment:  
 $k = 0,2$
- 1 vàlvula antiretorn per evitar que el flux circuli en direcció contrària i es posi dins la bomba:  $k = 0,5$  (No es tindrà en compte ja que les bombes amb les que es dissenyarà la instal·lació ja la portaran incorporada).

- 1 entrada a tuberia des de la bomba:  $k = 0,5$
- 2 colzes de  $90^\circ$ , per tal d'orientar la direcció del fluid :  $k = 1$
- Entrada del fluid a un dipòsit:  $k = 1$

Sabent que les pèrdues de càrrega singulars es poden calcular com:  $h_f^{sing} = k \cdot \frac{v^2}{2g}$ , s'obté:

$$\sum h_f^{sing} = (3 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,5 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1) \frac{v^2}{2g} = 0,3 \text{ m}$$

Es pot treure la velocitat factor comú ja que es manté constant durant tot el recorregut. Substituint els valors de velocitat de 1,2 m/s i la gravetat a l'expressió anterior, el total en resulta de 0,32 metres.

A continuació es pot calcular el valor TDH (total dynamic head) d'aquesta part de la instal·lació, és a dir, l'altura dinàmica que ha de superar la bomba per que la instal·lació funcioni correctament:

$$TDH = \Delta Z + P + h_f^{lin} + \sum h_f^{sing}$$

Sabent que la pressió (P) a la que ha d'arribar l'aigua al dipòsit és 0, tant sols s'obté que l'altura dinàmica és igual a la diferència de cota entre la bomba i el dipòsit  $\Delta Z$  més les pèrdues de càrrega lineals ( $h_f^{lin}$ ) i singulars ( $h_f^{sing}$ ).

Per tant, s'obté:

$$\Delta Z = h_1 + h_2 + z = 35,5 \text{ m.}$$

$$P = 0 \text{ m.}$$

$$h_f^{lin} = 22,84 \text{ m.}$$

$$\sum h_f^{sing} = 0,3 \text{ m.}$$

$$TDH = 35,5 + 22,84 + 0,3 = 58,66 \text{ metres.}$$

Un cop s'ha calculat aquest valor, es pot procedir a calcular la potència de la bomba (N), on:

$$N (W) = \rho \cdot g \cdot Q \cdot TDH$$

Substituint els valors que s'han esmentat en la elaboració d'aquest càlcul, el valor de la

potència que en resulta és de  $N(W) = 373,83 \text{ W}$ .

Com és d'esperar, però, la potència real no és aquesta, sinó que s'ha d'aplicar un rendiment de la bomba elèctrica, que rondarà el 60 % ( $\eta = 0,6$ ), aproximadament.

Per tant, el valor de potència real que necessita aquesta instal·lació és de  $N_{Real} = 623 \text{ (W)}$ .

#### 7.1.1.1. Modificació dels paràmetres de disseny

L'objecte d'aquest apartat és poder calcular com varia la potència real de la bomba en cas que les variables de disseny variïn: per si en un futur hi ha modificacions a l'escola i les necessitats són diferents que les actuals.

Actualment, la bomba dins el pou d'aigua es situarà a una profunditat de 25 metres d'alçada, però que passa si d'aquí un temps el nivell d'aigua baixa i s'ha de col·locar la bomba uns metres més avall?

Per cada metre extra que la bomba hagi de superar, la potència de la bomba és multiplica per 1,018. És a dir, per exemple, si la bomba baixa 5 metres més, la potència real de la bomba serà de 680 (W).

El mateix succeeix si el dipòsit es vol posar a una alçada superior, per cada metre que s'alci el dipòsit, la bomba augmenta a raó de 1,018.

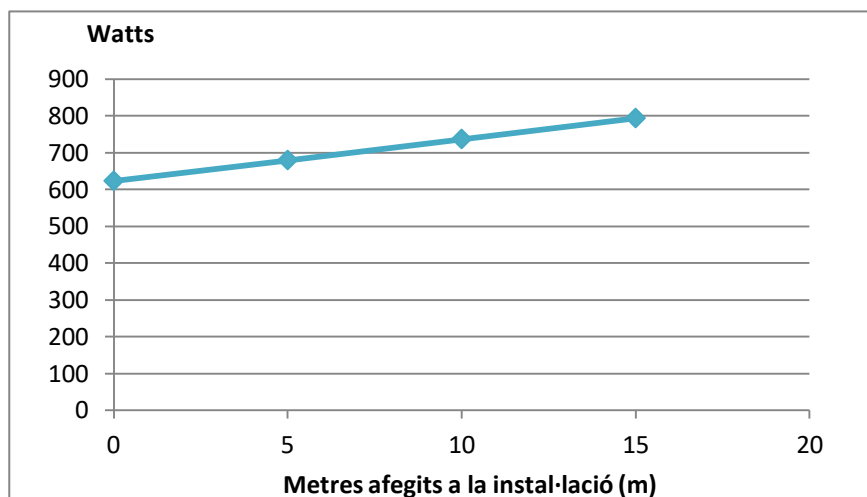


Figura 29: Augment de la potència segons els metres addicionals afegits.

D'altra banda, l'escola pot ampliar la capacitat d'alumnes, i aleshores, el cabal que s'ha pres com a paràmetre de disseny no seria correcte.

Per fer aquest estudi, es farà la hipòtesis que l'escola augmenta la seva capacitat d'alumnes en un 5 %, és a dir, de 696 a 730 alumnes. Com hi ha una relació lineal amb el nombre

d'alumnes i els litres que consumeix cada un, el cabal a extreure del pou augmentarà, doncs, en un 5 %: el cabal diari serà de 3257 litres. Fent el mateix càlcul que s'ha realitzat a l'apartat 7.1.1, la potència en resulta de 646,15 W. És a dir, la potència augmenta a raó de 1,036 per cada 5% d'augment de capacitat.

A continuació es pot veure l'evolució de la potència de la bomba en funció de l'augment d'alumnes en tant per cent:

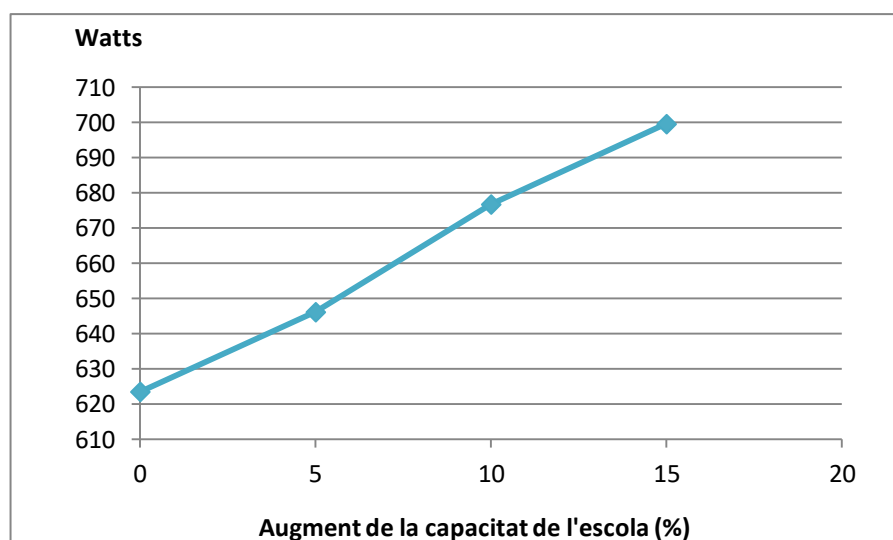


Figura 30: Augment de la potència davant un augment de la capacitat de l'escola.

Finalment, i per acabar amb la modificació dels paràmetres de disseny, s'ha calculat per la situació de partida amb 3102 litres a bombejar, quina seria la potència necessària si enlloc de bombejar-ho amb 4 hores com s'ha dissenyat, es volgués portar l'aigua a l'escola en una menor quantitat de temps:

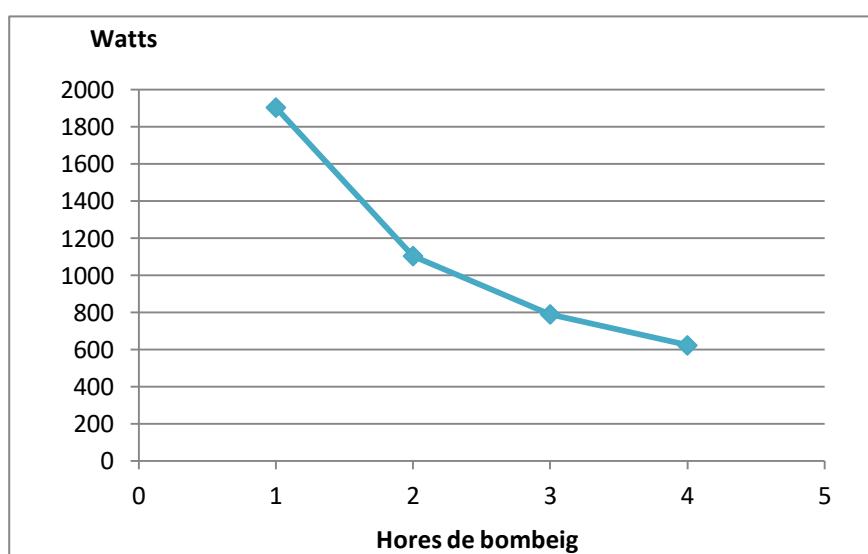


Figura 31: Augment de la potència davant la reducció d'hores de bombeig.



### 7.1.2. Extracció d'aigua d'un pou propi dins l'escola

L'altre opció viable és construir un pou al recinte de l'escola per al seu propi i privat ús. Com es veu a la següent imatge, el pou pot estar situat a qualsevol punt dins del terreny de l'escola:



*Figura 32: Recinte de l'escola Tabingwa, Google Maps.*

Suposant que es pot trobar un punt d'aigua dins un interval de 50 metres de longitud des de les aules de l'escola Tabingwa i que la profunditat a la que es col·locarà la bomba és de 25 metres, es pot procedir a fer el càlcul de la mateixa forma que a l'apartat 7.1.1 d'aquest treball.

Es considera en tot cas les mateixes variables de disseny que a l'anterior apartat, exceptuant de la longitud del pou fins l'escola, que es considerarà de 50 metres, i la diferència de cotes (comptant un 3 % de pendent) que serà de 1,5 metres.

Seguint el procediment indicat, es calcula que el valor de la potència real de la bomba és de  $N_{Real} = 357,75 \text{ W}$ .

Evidentment, però, el factor de trobar aigua dins d'un radi de 50 metres es totalment aleatori. Pot ser que el pou d'aigua es trobi a una distància superior o inferior a aquest valor; per tant, s'ha de fer un estudi per totes les possibilitats.

Seguint el càlcul fet en aquest apartat i l'anterior, es fa el càlcul de la bomba pel cas que la distància sigui de 10 fins a 100 metres de distància del centre de l'escola:



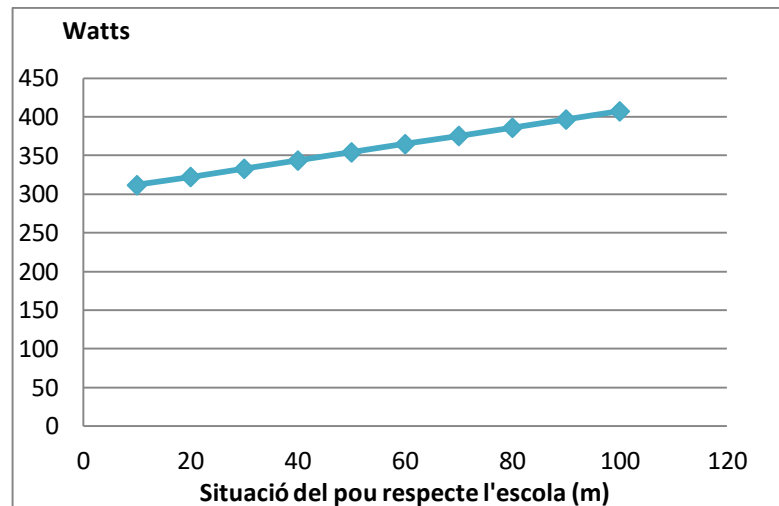


Figura 33: Variació de la potència en funció de la situació del pou.

Com es pot veure, la potència oscil·larà entre 300 i 400 W, augmentant a raó de 1,034 Watts de potència de bomba per cada 10 metres de distància.

## 7.2. Tipus de bomba i selecció

### 7.2.1. Tipus de bombes

Per tal de poder seleccionar la bomba per les dues opcions d'aquest projecte, en aquest apartat es tractarà de diferenciar quines són les grans famílies de bombes hidràuliques i quines són les seves característiques, per tal de poder encaminar la selecció.

Per fer una primera divisió, les bombes es poden classificar en rotodinàmiques i volumètriques:

Rotodinàmiques: L'energia es transfereix per variació del camp de les velocitats. Són màquines sempre rotatives on, aprofitant aquesta energia mecànica provinent de la rotació, s'impulsa el fluid donant-li energia cinètica o pressió.

Volumètriques o de desplaçament positiu: Impulsen un fluid de forma discontinu a través de la màquina, de la següent forma: aïllar, desplaçar, comprimir i expulsar. El principi de funcionament és diferent, on al fluid se li dona pressió per compressió del seu volum. Per exemple, tal i com funciona el cor d'un ésser viu.

Fent una primera selecció, pel cas a estudiar interessa un flux constant a través de la màquina i per tant, a partir d'ara es focalitzarà l'estudi amb les bombes rotodinàmiques.

Com ja s'ha comentat abans, les bombes rotodinàmiques converteixen energia mecànica

rotativa en energia cinètica, i ho fan a partir del que s'anomena rodets o rotors. En molts casos, aquests rodets estan col·locats en sèrie i formen les bombes multi-etapa.

El parell d'arrencada de la bomba és més baix que les volumètriques, per tant, al treballar amb energia provinent d'una font fluctuant serà millor, ja que hi ha menys possibilitats d'anar encenent i apagant el motor al disminuir l'energia.

N'hi ha de 3 tipus diferents: centrífugues, axials i semi-axials. Cal saber també que aquestes bombes no són auto-aspirants i per tant, han d'estar envoltades del fluid a bombejar:

Bombes centrífugues: Les bombes centrífugues són molt energètiques. Es caracteritzen per donar una altura elevada i un cabal petit. El fluid entra en la direcció de l'eix dels rodets i en surt a 90°. Són bombes utilitzades per sistemes d'alta pressió, per exemple.

Bombes axials: Les bombes axials es caracteritzen per proporcionar una altura baixa i un cabal molt gran. El fluid surt impulsat en la mateixa direcció que l'eix del rodet, i són bombes que, degut a les seves característiques de gran cabal i poca altura, són generalment usats en temes d'irrigació.

Bombes semi-axials: Les bombes semi-axials estan a mig camí entre les centrífugues i les axials, i proporcionen cabals i altures mitges. Els àleps dels rodets estan inclinats un cert angle entre 0 i 90° respecte l'eix dels rodets, cosa que fa que el fluid surti amb una certa inclinació i sigui més manejable. Un exemple en podrien ser les bombes submergibles per pous, tot i que també podrien ser centrífugues: només depèn de la inclinació dels àleps.

Per tant, pel cas d'estudi d'aquest projecte, s'ha d'anar a buscar una bomba de tipus semi-axial, ja que el cabal i les altures que es tenen, en ambdós casos, són de tipus mitjà, i buscar l'estructura d'una bomba de tipus submergible.

Les bombes de tipus submergible són llargues i estretes, per entrar a qualsevol tipus de pou (fins a 10 cm), i s'en varia l'altura que són capaces de donar afegint o treient rodets; per tant, poden ser multi-etapa. Funcionen amb un motor elèctric que pot estar en CC o bé en CA.

### 7.2.2. Selecció de la bomba

La selecció de la bomba s'ha realitzat seguint els següents criteris per la primera opció, on s'extrau aigua del pou a 300 metres *Water Source 1*:

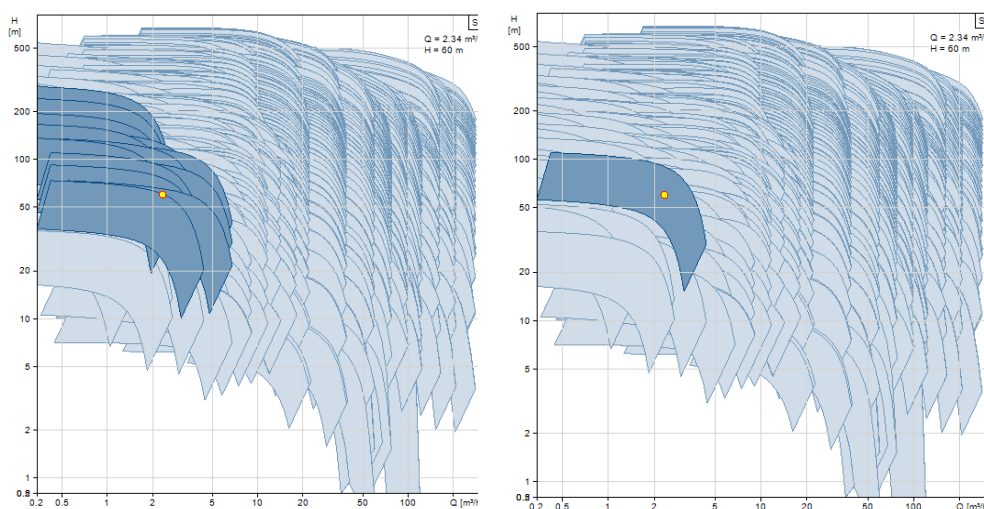
- Altura resistant de 60 metres.
- Cabal de 2,34 m<sup>3</sup>/h



Figura 34 : Bomba submergible

- Bomba submergible, per extracció d'aigua subterrània.
- Fluid: Aigua amb densitat  $1000 \text{ Kg/m}^3$
- Temperatura:  $20^\circ\text{C}$
- No auto aspirant, ja que es posarà la bomba dins l'aigua del pou.

Aquestes característiques s'han buscat en catàlegs de fabricants de referència, com ara Grundfos i Lenntech, i el resultat n'és el següent:



Figures 35 i 36: Procés de selecció de la bomba.

Així doncs, interessa una corba on el punt (58,82 m ;  $2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ ) a la gràfica H-Q sigui el punt de funcionament, és a dir, que sigui un valor central a la corba.

No interessa treballar a les zones properes als extrems d'aquesta gràfica ja que es perjudicial per la màquina i el seu temps de vida útil es veuria disminuït.

En concret, per aquest problema es busca una bomba d'aquesta magnitud:

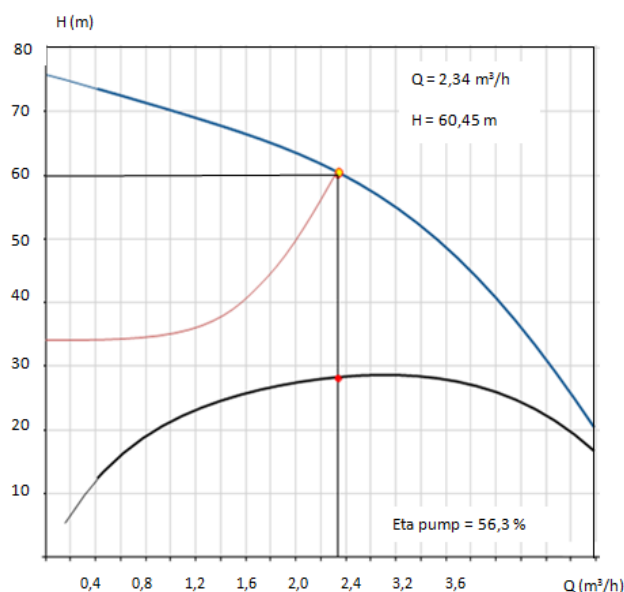


Figura 27: Corba Q-H per l'opció WS1.

En aquest gràfic es presenten 3 corbes: En primer lloc, la corba de color vermell representa corba resistent del circuit hidràulic ( $h_r$ ), que només depèn del cas d'estudi. En segon lloc, la corba blava representa l'altura que proporciona la bomba per cada cabal ( $h_b$ ). Per últim, la corba negra dona el rendiment de la bomba per cada punt d'estudi.

La intersecció entre la corba que representa l'altura resistent del circuit i l'altura que proporciona la bomba és justament el punt de funcionament del sistema:  $h_r = h_b$ .

En aquest cas, el rendiment de la bomba és de 0,563 i per tant, la potència necessària per alimentar la bomba és:

$$N_{Real} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot TDH}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,00065 \cdot 58,62}{0,563} = 663,92 \text{ W}$$

Fent el càlcul teòric surt una potència de 663,92 (W), que s'hauria d'ajustar a la corba de potència proporcionada pel fabricant:

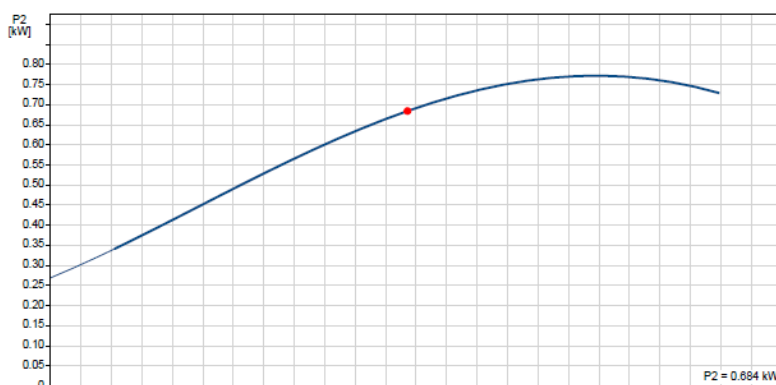


Figura 38: Potència requerida per la bomba al punt de treball.

El punt vermell que dona la gràfica és el la potència pel punt de treball mostrat a la pàgina anterior, on indica la potència necessària per treballar en aquest punt. El resultat és, doncs, de 684 (W).

La diferència de 17 Watts amb el càlcul que s'ha realitzat teòric i la corba de potència real és deguda a que l'altura resistent del circuit no són 60 sinó 58,62 metres.

Per l'opció d'extracció d'aigua des d'un pou propi a l'escola (opció B), els paràmetres de selecció canvien. En aquest cas són els següents:

- Altura resistent de 33 metres.
- Cabal de 2,34 m<sup>3</sup>/h
- Bomba submergible, per extracció d'aigua subterrània.
- Fluid: Aigua amb densitat 1000 Kg/m<sup>3</sup>

- Temperatura: 20°C
- No auto aspirant, ja que es posarà la bomba dins l'aigua del pou.

Si s'aplica el mateix criteri que per la opció A, s'obté una bomba d'aquestes característiques:

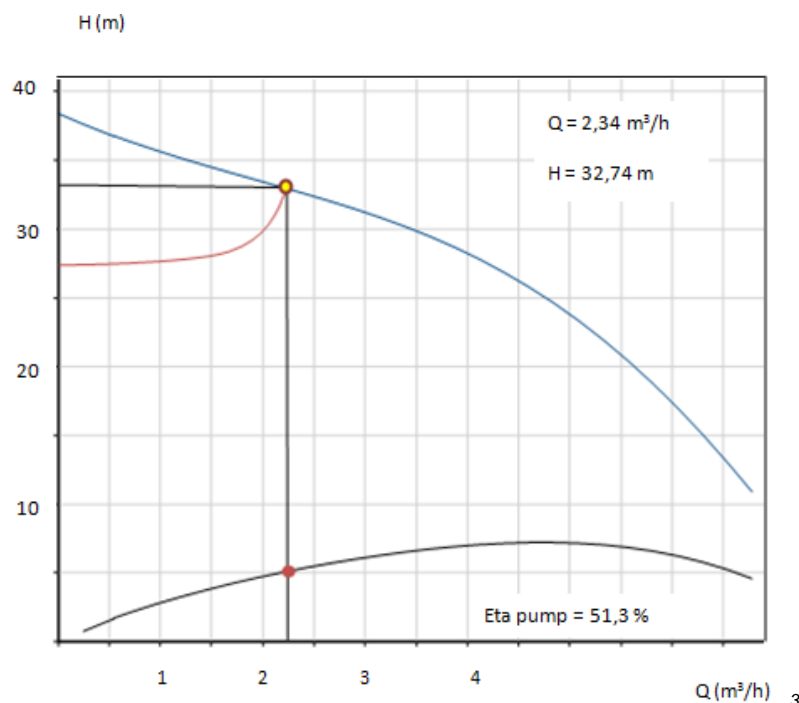


Figura 39: Corba Q-H per l'opció de pou propi.

Amb un rendiment d'un 51,3 % de la bomba. Si es fan els càlculs pertinents.

$$N_{Real} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot TDH}{\eta} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,00065 \cdot 33}{0,513} = 410,18 \text{ W}$$

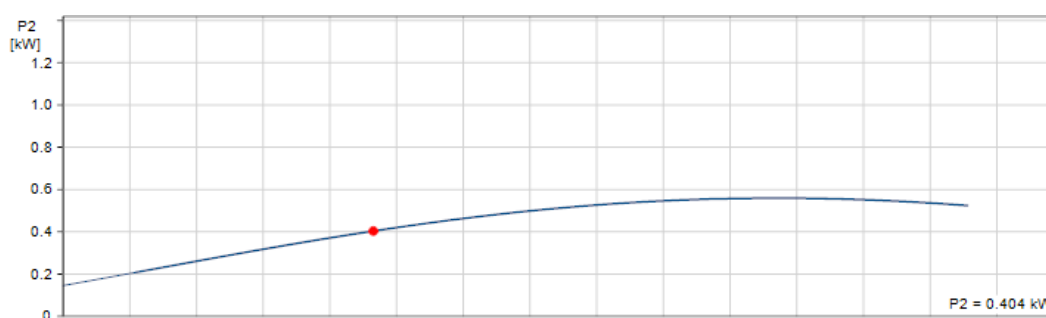


Figura 40: Potència requerida per la bomba al punt de treball.

<sup>3</sup> Cal notar que les corbes resistents en vermell de les figures 37 i 39 comencen al punt (0,35.5) i al punt (0,28), respectivament. El punt d'inici és el que correspon als termes  $\Delta Z + P/\gamma$ .

Cal fixar-se que la potència obtinguda de tipus teòric és lleugerament superior a la que proporciona la gràfica de 404 kW, ja que el punt de funcionament de la bomba és amb una altura de 32,74 metres, enlloc dels 33 metres que es buscaven.

Finalment, i a mode comparatiu, si s'utilitza l'opció 2 amb un pou propi, s'estalvien 274 W de potència davant l'opció 1.

En el següent apartat es mostra el pressupost d'aquestes bombes.

### **7.2.3. Pressupost**

Per tal de poder proporcionar un pressupost real a la memòria d'aquest treball, l'empresa Lenntech ha proporcionat el preu de les dues bombes citades a l'apartat anterior:

Per l'opció 1, el model SP 3A – 12 costa un total de 375 €

Per l'opció 2, el model SP 5A-6N costa un total de 240 €

Se'n pot consultar la fitxa tècnica de les bombes a l'Annex 1 d'aquest treball.

## 8. Dimensionat de la instal·lació

Un cop ja es s'ha decidit quina bomba s'instal·larà per el sistema de subministrament d'aigua que s'està dissenyant, es procedeix a fer el disseny de la instal·lació d'aigua amb tots els seus elements.

Com és lògic, hi ha dos opcions que poden ser viables, com ja s'ha anat comentant durant el treball. Es farà el càlcul de la instal·lació per ambdues opcions per tal de poder calcular el pressupost final a l'apartat 9, i veure quina instal·lació és la més adient per poder-la dur a terme.

Es farà, en primer lloc, el disseny hidràulic del sistema, i es complementarà amb el disseny dels paràmetres bàsics del sistema elèctric que alimenta la bomba per saber quin pack fotovoltaic s'ha comprar. Finalment, per complementar la instal·lació, es farà un anàlisi més general de millores que s'han d'introduir al sistema WASH perquè tot el conjunt funcioni correctament.

### 8.1. Sistema hidràulic

El sistema hidràulic d'aquest projecte es compon de 2 punts que s'estudien per separat. En primer lloc hi ha el sistema hidràulic d'extracció d'aigua del pou i transport fins al dipòsit, i d'altra banda hi ha el sistema de subministrament d'aigua des del dipòsit fins a l'escola. Aquesta segona part del disseny hidràulic serà independent del pou d'extracció d'aigua, ja que el dipòsit serà col·locat, tindrà les mateixes dimensions, i estarà alçat a la mateixa distància respecte el terra.

Per tant, aquesta secció és millor estudiar-la en dos apartats diferents: Subministrament d'aigua al dipòsit i a l'escola.

#### 8.1.1. Subministrament d'aigua al dipòsit

Com ja s'ha estudiat als apartats anteriors, s'ha arribat a la conclusió que el grup de bombeig actuarà 1 de cada 3 dies, proporcionant al dipòsit un total de 9306 litres d'aigua, que equival un cabal de 0,65 l/s.

La base del dipòsit es col·locarà a una alçada  $h = 1,5$  metres d'altura respecte el nivell del terra subjectada per una plataforma. El dipòsit, és de la marca Crestank i té unes dimensions de: diàmetre  $D = 2,39$  m i altura  $z = 2,71$  m. El volum del dipòsit és de  $12,15 \text{ m}^3$  d'aigua, però tan sols té una capacitat d'emmagatzemar-ne  $10 \text{ m}^3$ .

D'altra banda, el sistema anirà totalment enterrat per tal de no donar facilitar els actes vandàlics i evitar problemes amb les comunitats del voltant. Es considera, que encara no s'havia tingut amb compte, una profunditat de 0,5 metres per enterrar el conducte.

Per l'opció 1 d'aquest treball, que consisteix en bombejar aigua des del pou anomenat Water Source 1 a 300 metres de l'escola, s'han obtingut uns paràmetres de disseny d'altura manomètrica  $H = 59,16$  metres i un cabal d'aigua  $Q = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ . La potència necessària (sense cap rendiment) és  $N = 377,24 \text{ W}$ .

Per resoldre aquest cas, s'ha seleccionat la bomba SP-3A-12 de la marca Lenntech, el punt de funcionament de la qual està fixat a  $H = 60,45$  metres i  $Q = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ . El rendiment de la bomba és del  $\eta = 56,3 \%$ , i per tant, la potència real que s'ha de subministrar és de  $N_{Re} = 664 \text{ W}$  (dada proporcionada pel fabricant al punt de funcionament).

Per l'opció 2 d'aquest treball, que consisteix en bombejar aigua des d'un pou dins el recinte de l'escola a 50 metres dels edificis principals de l'escola, s'han obtingut uns paràmetres d'altura manomètrica  $H = 34,19$  metres i el mateix cabal que el cas anterior:  $Q = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ . La potència necessària, sense aplicar cap rendiment és de  $218,06 \text{ W}$ .

Per resoldre aquest cas, s'ha seleccionat la bomba SP-5A-6N, on el punt de funcionament s'ha fixat a  $H = 32,74 \text{ m}$  i  $Q = 2,34 \text{ m}^3/\text{h}$ . El rendiment de la bomba és de  $\eta = 51,3 \%$ , i per tant, la potència real que s'ha de subministrar és de  $N_{Re} = 404 \text{ W}$ , tal i com diu el fabricant.

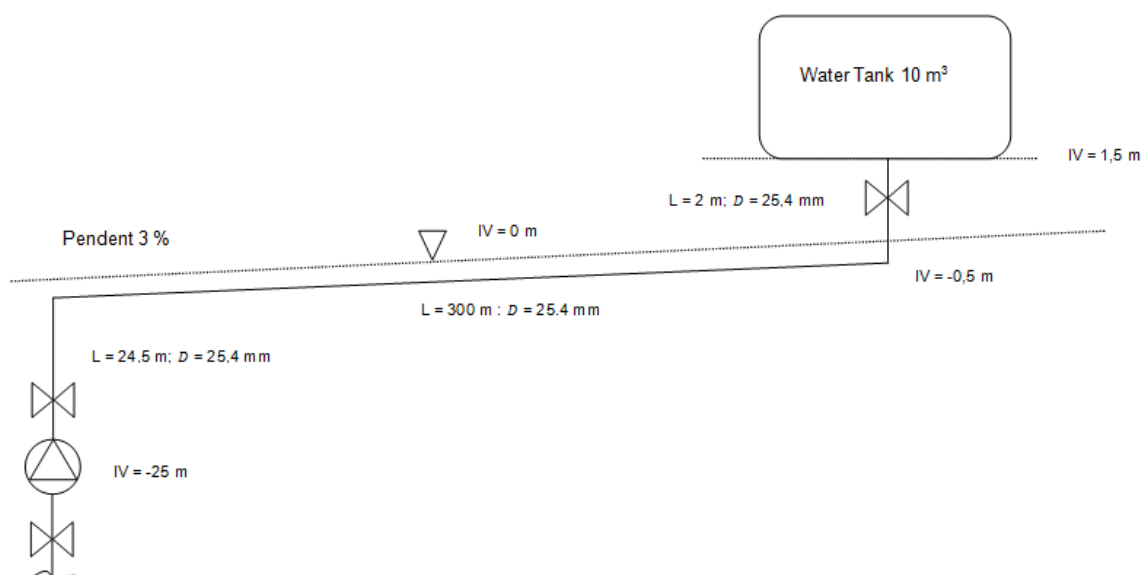


Figura 41: Esquema del sistema hidràulic (pou-dipòsit) per l'opció 1.

Com es pot veure a l'esquema, no s'ha incorporat una vàlvula anti-retorn a la sortida de la bomba, i el motiu és perquè les bombes de la marca Lenntech, tal i com el fabricant ho ha



nombrat al seu catàleg, ja tenen incorporada una vàlvula anti-retorn. A part, també cal dir que l'esquema no està a escala.

De la mateixa manera, s'ha dissenyat el sistema pou – dipòsit per l'opció 2:

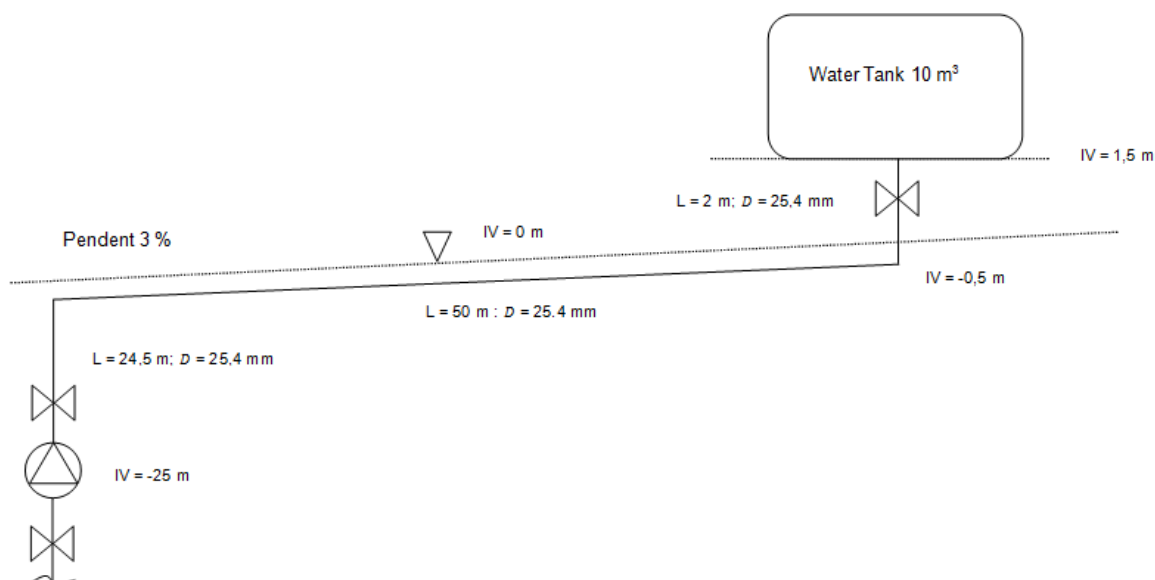


Figura 42: Esquema del sistema hidràulic (pou-dipòsit) per l'opció 2.

Com es pot veure, ambdós esquemes són pràcticament iguals, simplement canvien les cotes de nivell anomenades IL “*Invert Level*”. A part, el sistema està enterrat 0,5 metres per garantir la seguretat contra actes vandàlics.

### 8.1.2. Subministrament d'aigua a l'escola

La segona etapa de l'estudi de subministrament d'aigua a l'escola fa referència a la distribució de l'aigua des dels dos tancs que s'instal·laran a l'escola:

La divisió, com ja s'ha explicat al llarg d'aquest treball, serà la següent:

- Aigua provinent del pou: cuina, hidratació i higiene de mans.
- Aigües pluvials: neteja de latrines i higiene de zones íntimes.

#### 8.1.2.1. Provenent del dipòsit d'aigua del pou

Un cop es té l'aigua emmagatzemada a una torre d'alçada 1,5 metres, es procedeix a la distribució d'aquesta aigua pels punts d'interès per cuinar, hidratar i neteja de mans.

Tal i com han comentat els membres de l'escola, els interessa aquesta aigua provinent del pou als tres punts següents:

- Cuina, on es prepara diàriament el dinar dels alumnes i els professors.
- Zona de fonts al pati de l'escola per la hidratació dels alumnes i neteja de mans.
- Accés auxiliar a la zona de latrines, per si no hi ha aigües pluvials. (Sistema de reserva).



*Figura 43: Situació dels elements on s'ha de subministrar aigua.*

Veient la distribució de punts d'aigua que s'han d'instal·lar a l'escola, el més lògic és instal·lar la torre d'aigua entremig de les latrines i la zona que es construirà de fonts, per tal de tenir accés més fàcilment a tots els punts de sortida d'aigua.

D'altra banda, en mitjana, l'edat dels nens a l'escola ronda els 8-9 anys, on l'estatura mitja a aquesta edat és d'uns 122 cm. Per tant, els punts de sortida d'aigua es situaran a una alçada de 0,8 metres, per tal de donar un fàcil accés als usuaris principals d'aquest sistema.

El sistema, doncs, tindrà aquest perfil:

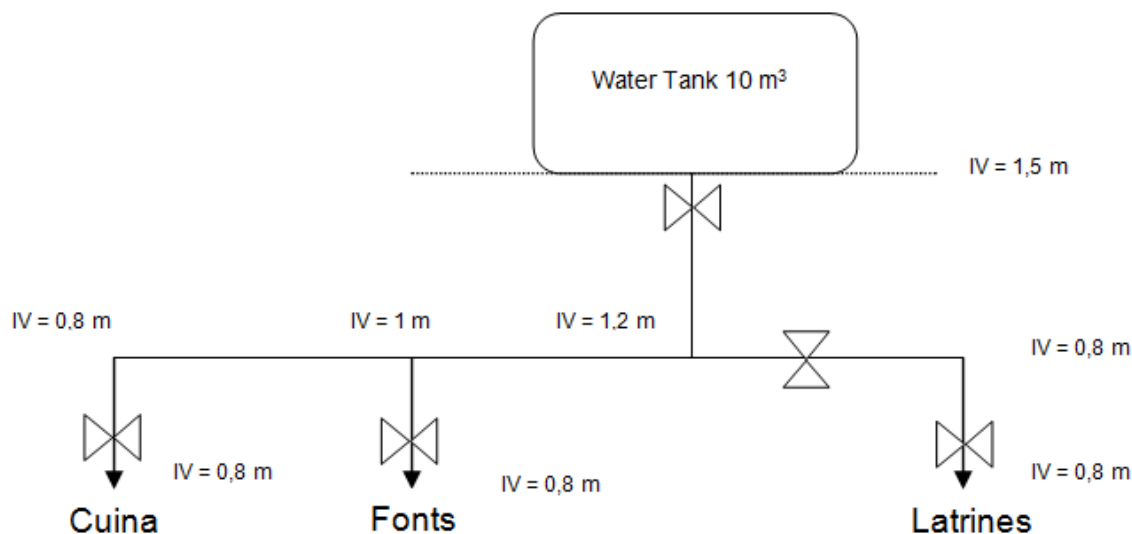


Figura 44: Esquema de distribució d'aigua del dipòsit a l'escola.

Utilitzant el google maps i la seva escala, es pot determinar la distància entre els diferents punts de subministrament d'aigua. A més, per no complicar el disseny i comprar el mateix tub per tot el sistema, es farà el disseny amb un tub de HPDE de 25,4 mm de diàmetre, igual que el sistema que impulsa aigua de la bomba.

Per tant, l'esquema complementari al de les alçades és el següent:

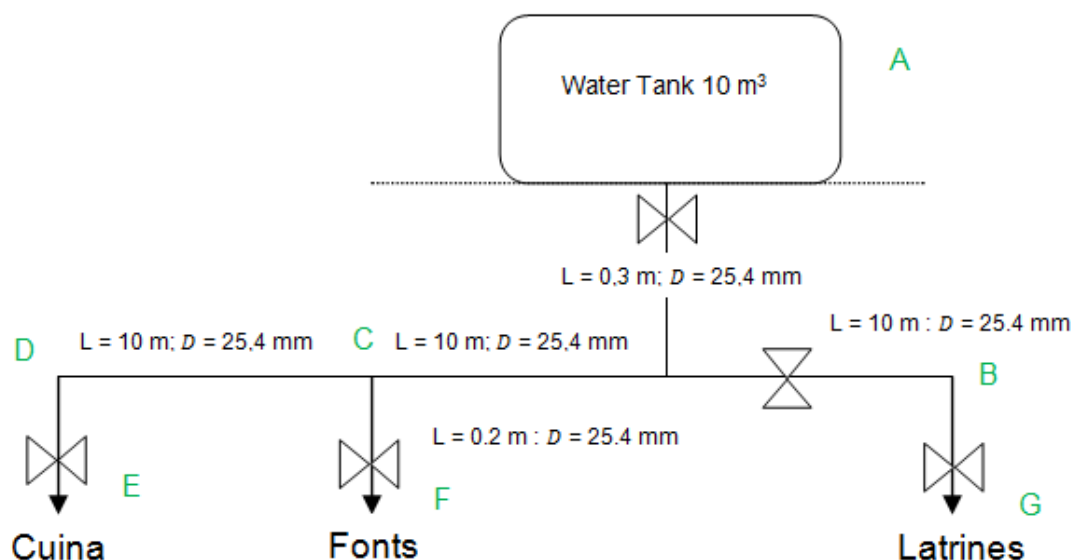


Figura 45: Representació dels nodes i mesures de la instal·lació.

La vàlvula que hi ha en el ramal del tanc fins les latrines, és una vàlvula que estarà permanentment tancada, i només s'obrirà en cas d'emergència, si no hi ha aigües pluvials.

Per tant, es tractarà d'una vàlvula a la que només tindran accés els membres de gestió de l'escola.

El que si que estarà en constant ús i s'ha de calcular simultàniament és l'aigua que surti per l'aixeta situada a la cuina i la de les fonts.

Suposarem, per fer el càlcul, que només hi ha una font. Posteriorment, s'adequarà el càlcul per la quantitat total de fonts/sortidors d'aigua que s'instal·lin.

Per tant, considerant que s'obren les dues aixetes a la vegada, el sistema d'equacions per determinar el cabal es troba aplicant el principi de Bernoulli i la llei de conservació de la massa. A més, el punt A fa referència a la superfície lliure del dipòsit.

$$Z_A = \frac{C_F^2}{2g} + Z_F + hf_{AC} + hf_{CF}$$

$$Z_A = \frac{C_E^2}{2g} + Z_E + hf_{AC} + hf_{CD} + hf_{DE}$$

$$C_T = C_E + C_F$$

Per resoldre aquest sistema d'equacions s'ha d'aplicar un procés iteratiu, ja que el coeficient de les pèrdues de càrrega lineals depèn del Reynolds, i a la vegada el Reynolds de la velocitat. Per tant, per començar el procés iteratiu, suposarem un Reynolds entre  $10^4$  i  $10^5$ , i com la rugositat relativa és la mateixa que a l'altre estudi que s'ha fet per portar aigua des del pou ( $\varepsilon/D = 0,00026$ ) es suposa un punt de partida de  $f = 0,025$ . Després es verificarà aquesta hipòtesis. Per tant, doncs, s'obté el següent sistema d'equacions:

$$1,5 + 2,7 = \frac{C_F^2}{2 \cdot 9,81} + 0,8 + \frac{0,025 \cdot 10,3 \cdot C_T^2}{26 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9,81} + \frac{2 \cdot C_T^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{0,025 \cdot 0,2 \cdot C_F^2}{26 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9,81} + \frac{0,2 \cdot C_F^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$1,5 + 2,7 = \frac{C_E^2}{2 \cdot 9,81} + 0,8 + \frac{0,025 \cdot 10,3 \cdot C_T^2}{26 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9,81} + \frac{1 \cdot C_T^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{0,025 \cdot 10 \cdot C_E^2}{26 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 9,81} + \frac{0,2 \cdot C_E^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$C_T = C_E + C_F$$

Aquest càlcul ha estat realitzat considerant el moment on el dipòsit té la seva altura màxima, i la superfície lliure es troba a 4,2 metres del nivell del terra. Els resultats obtinguts són els següents:

$$C_T = 2,31 \frac{m}{s}; C_F = 1,44 \frac{m}{s}; C_E = 0,87 \frac{m}{s}$$

Com es pot veure, els resultats són lògics, ja que el cabal/velocitat del tram CE és menor

que el cabal/velocitat del tram CF, ja que hi ha més pèrdues de càrrega.

Ara s'ha de verificar la hipòtesis sobre el coeficient de pèrdues de càrrega lineals:

$$Re(C_T) = \frac{1000 \cdot 0.026 \cdot 2,31}{0,0011} = 54600$$

$$Re(C_F) = \frac{1000 \cdot 0.026 \cdot 1,44}{0,0011} = 34036$$

$$Re(C_E) = \frac{1000 \cdot 0.026 \cdot 0,87}{0,0011} = 20563$$

Els 3 valors de Reynolds per cada tram estan compresos entre  $10^4$  i  $10^5$ , per tant s'accepta la hipòtesis de  $f = 0,025$  i no cal continuar amb el procés d'iteració.

Fent el mateix càlcul però amb el dipòsit al valor mínim (0,2 metres d'alçada), els valors de velocitats resulten de:

$$C_T = 1,19 \frac{m}{s}; C_F = 0,74 \frac{m}{s}; C_E = 0,45 \frac{m}{s}$$

Per tant, suposant una secció d'aixeta convencional de 30 mm de diàmetre, els cabals per els dos nivells extrems són de:

Cabal	Nivell màxim (2,7 metres)	Nivell mínim (0,2 metres)
<b>Total</b>	1,63 l/s	0,84 l/s
<b>Tram 1: CF</b>	1,01 l/s	0,52 l/s
<b>Tram 2: CE</b>	0,61 l/s	0,32 l/s

*Taula 16: Distribució dels cabals per cada tram d'instal·lació.*

Com es pot veure, els resultats reals han diferit força del que es va suposar a l'apartat 6.8.1, fet que fa pensar que les pèrdues de càrrega són bastant superiors al 20 % que es va predir en aquella suposició.

De fet, aquest càlcul es pot fer, i de l'energia total que se li ha donat a l'aigua en forma de potencial gravitatòria de 3,4 metres (en el cas de dipòsit ple), només un total de 0,144 metres (els termes de  $\frac{C^2}{2 \cdot g}$ ) s'han convertit en energia cinètica a la sortida de les aixetes. La resta, s'ha perdut pel camí en forma de pèrdues de càrrega lineals i singulars.

Per tal de concloure l'anàlisi sobre aquest sistema, el cabal que una aixeta convencional (de

casa) treu és de 0,1-0,15 l/s. Per tant, el sistema està ben dissenyat, ja que el raig d'aigua que en sortirà per les aixetes serà suficient sempre, i es podrà regular a partir de les vàlvules de sortida.

Finalment, si enlloc de posar una aixeta a la zona on s'instal·larà les fonts, es posa un total de 5 sortidors d'aigua per tal de no generar cues al pati de l'escola, es pot calcular fent les següents simplificacions:

- La distància entre les fonts serà petita, per tant, es menyspreen pèrdues de càrrega lineals.
- Radis de curvatura grans, per tant, les pèrdues de càrrega per colzes de 90 no influiran.
- El terme de pèrdues de càrrega a les vàlvules també serà molt petit (al anar multiplicat per una  $k = 0,2$  i, per tant, es considera menyspreable).

Per tant, per conservació de la massa i prenent les suposicions esmentades anteriorment, es pot afirmar que el cabal es repartirà en 5 de forma homogènia.

Aleshores, el cabal que circularà per cada sortidor de les fonts oscil·larà entre 0,202 i 0,104 l/s. Es pren, doncs, com un disseny vàlid i que funcionarà per gravetat dins d'un rang de valors correctes en tot moment.

#### 8.1.2.2. Provenent del dipòsit d'aigües pluvials

Per acabar el càlcul de la instal·lació hidràulica a l'escola Tabingwa, es farà el dimensionament de la instal·lació del dipòsit d'aigües pluvials.

Com ja s'ha vist a l'apartat 6.8.2, el dipòsit d'aigües pluvials tindrà 1 metre d'alçada i 2,5 metres de diàmetre.

Si es considera que no hi ha pèrdues de càrrega, s'obté que la velocitat a la sortida de l'aixeta depèn de l'arrel de la cota de superfície lliure del dipòsit:

$$v_2 = \sqrt{2gz_1}$$

Si se suposa que l'aixeta estarà a 0,3 metres de la base de ciment (de 0,5 metres) i el dipòsit oscil·la entre 0,9 i 0,4 metres d'alçada, les velocitats que s'obtenen en els casos extrems són entre 3,43 m/s i 1,4 m/s.

Si es vol fer el càlcul precís, amb les pèrdues de càrrega, s'haurà de considerar únicament la vàlvula a la sortida amb  $k = 0,2$ .

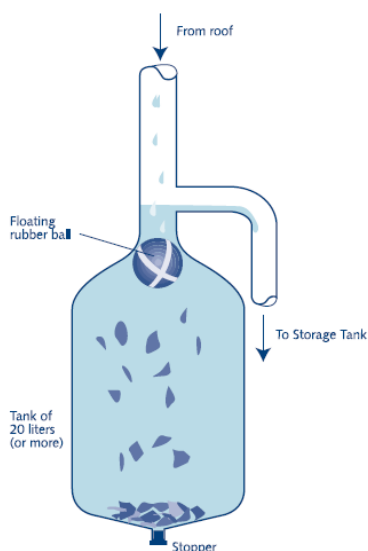
El resultat és, doncs, de:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2gz_1}{1,2}}$$

Els valors de velocitat oscil·len entre: 3,13 m/s i 1,27 m/s i els cabals, considerant una aixeta de 30 mm de diàmetre, oscil·len entre 2,21 l/s i 0,90 l/s. Totalment acceptables, també.

Finalment, s'implementarà una mesura de seguretat per eliminar la brutícia del sostre de l'escola, es tracta del sistema anomenat first-flush:

Durant períodes de sequera, fulles, pols, excrements d'ocells, etc s'acumularan al sostre de l'escola. Si no s'incorpora el sistema first-flush, l'aigua de la pluja que caigui al terrat de l'escola es barrejarà amb tota aquesta brutícia i se'n emportarà gran quantitat dins el tanc. Per tant, doncs, aquest sistema té per objecte recollir l'aigua dels primers ruixats en un tanc auxiliar, per tal que s'emporti tota la brutícia del teulat i quedi totalment net per les següents pluges que hi hagin.



*Figura 46: Sistema First Flush.*

Aquest sistema bàsicament el que fa és recollir els primers 20 litres d'aigua, per exemple, i ho emmagatzema en un dipòsit auxiliar. Hi ha una bola flotant que el que farà és obstaculitzar l'entrada a aquest dipòsit quan estigui ple, de tal manera que donarà accés al dipòsit d'aigües pluvials que subministrarà aigua a l'escola.

Segons ha confirmat l'entitat KoomConsulting, aquest sistema no excedeix els 50 € de pressupost. Per tant, val la pena implementar-lo per tal de garantir una major netedat a l'aigua que s'utilitzi a l'escola.

## 8.2. Sistema elèctric

El disseny del sistema elèctric també és una part essencial d'aquest treball, ja que la bomba anirà alimentada elèctricament a partir de plaques fotovoltaïques que proporcionen corrent continu, i la bomba requereix corrent alterna.

Per implementar-ho a l'escola Tapingwa, es comprarà un pack solar on hi vindran els panells fotovoltaïcs, l'inversor, la bateries i el reguladors de càrrega, aquests dos últims elements són a discutir.

Es ben cert que per tal de simplificar el sistema es podria prescindir de les bateries i alimentar directament de la placa solar. No obstant, però, el que sí és cert és que l'inversor que transforma energia de corrent continu a corrent altern necessita una energia constant per tal de fer una bona conversió, i és difícil que els panells solars li puguin proporcionar ja que és una energia fluctuant. A part, no convé que la bomba s'encengui i s'apagui cada cop que passa un núvol per davant, ja que si s'alterna moltes vegades l'estat on-off es disminuirà la vida útil del sistema. Per aquests motius, doncs, és recomanable usar una bateria d'emmagatzematge d'energia solar per garantir que el sistema treballi amb unes bones condicions.

D'altra banda, si s'instal·la una bateria, s'ha d'instal·lar un regulador de càrrega per tal d'evitar que la bateria mai estigui carregada ni descarregada al màxim, i allargar així la seva vida útil.

Les plaques solars es poden col·locar al teulat de l'escola amb uns suports que les elevin del sistema de col·lecció d'aigües pluvials, i la resta d'elements aniran dins l'escola, per major protecció.

El primer que s'ha de fer és, doncs, calcular la quantitat d'energia que necessita la bomba, i per tant, aquesta secció s'ha de dividir en dos subapartats.

### 8.2.1. Sistema elèctric per WS1

En aquest cas, la bomba és un aparell de ús variable, i l'energia que consumeix no ve donada pel fabricant. Es pot calcular, doncs, com el producte de la seva potència per el temps estimat de funcionament.

$$E_{total} = 684 \text{ (W)} \cdot 4 \left( \frac{\text{Hores}}{3 \text{ dies}} \right) = 2736 \left( \frac{\text{Wh}}{3 \text{ dies}} \right)$$

Aquesta energia és la que es consumirà cada 3 dies, però en canvi, la instal·lació ha de ser capaç d'absorbir-la en un dia, tal i com s'ha mostrat a la secció 6.7 segons les dades solars.



Per tant, els 2736 Wh s'hauran d'aconseguir en un dia i, per tant,  $E_{total} = 2736 \left(\frac{Wh}{dia}\right)$

D'altre banda, s'ha de determinar la tensió nominal de funcionament de la instal·lació. En general, es recomana utilitzar les següents:

- 12 V: Per potències menors a 1,5 kW
- 24 V: Per potències entre 1,5 i 5 kW.
- 48 V: Per potències superiors a 5 kW.

En aquest cas, doncs, es tracta d'alimentar una càrrega menor a 1,5 kW i, per tant, la tensió nominal de funcionament hauria de ser 12 V, però es tria de  $V_{nom} = 24 V$  per reduir la secció del cable i fer la instal·lació més econòmica.

Per tant, el consum total net de la instal·lació fotovoltaica és de :

$$C_{total} = \frac{E_{total}}{V_{nominal}} = 114 \frac{Ah}{dia}$$

Les pèrdues energètiques que es generen a les connexions dels cables es poden prendre del 10 % de  $C_{total}$ , i per tant, es considera una pèrdua d'energia de  $C_{loss} = 11,4 \frac{Ah}{dia}$ .

L'energia requerida, doncs, és de  $C_{Req} = C_{total} + C_{loss} = 125,4 \frac{Ah}{dia}$ .

D'altre banda, s'han de considerar totes les pèrdues possibles de la instal·lació fotovoltaica, i es pot calcular el rendiment global amb la següent formula:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[1 - \frac{K_A \cdot D_{auto}}{P_D}\right]$$

On:

$K_T$ : Rendiment global.

$K_A$ : Pèrdues degudes a l'autodescàrrega.

$K_B$ : Pèrdues degudes al rendiment de la bateria.

$K_C$ : Pèrdues degudes al rendiment de l'inversor.

$K_R$ : Pèrdues degudes al rendiment del regulador.

$K_X$ : Pèrdues degudes a l'efecte Joule.

$D_{auto}$ : Dies autonomia de la bateria.

$P_D$ : Profunditat de descàrrega de la bateria (%)

Com encara no se sap amb quines característiques de plaques solars s'implementaran, prendrem els paràmetres estàndards típics que s'usen per realitzar aquest càlcul:

$K_A = 0,5 \%$  de l'energia total requerida

$K_B = 5 \%$  de l'energia total requerida

$K_C = 5 \%$  de l'energia total requerida

$K_R = 10 \%$  de l'energia total requerida

$K_X = 10 \%$  de l'energia total requerida

$D_{auto} = 1 \text{ dia}$

$P_D = 60 \%$

Per tant,

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot [1 - \frac{K_A \cdot D_{auto}}{P_D}]$$

$$K_T = [1 - (0,05 + 0,05 + 0,1 + 0,1)] \cdot \left[1 - \frac{0,005 \cdot 1}{0,6}\right] = 0,65$$

Aleshores, ja es pot calcular el consum total requerit tenint en compte totes les pèrdues:

$$C'_{Req} = \frac{C_{Req}}{K_T} = 195,93 \frac{Ah}{dia}$$

Un cop es sap el consum d'energia que necessita la instal·lació s'ha de dissenyar els panells solars.

La irradiació solar que arriba al teulat de l'escola en el pitjor cas és de  $5,23 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  en un angle òptim de  $30^\circ$ , segons l'apartat 5.3.3 d'aquest treball. Com, en mitjana, interessa un angle òptim de  $1^\circ$ , per simplificar el sistema es posaran els panells fotovoltaics totalment horitzontals a  $0^\circ$ . La mínima irradiació que s'obtindrà és, doncs, de

$$\text{Irradiació mínima} = 5,23 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \cdot \cos(30) = 4,52 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

D'aquesta energia, però, se'n podrà captar un 94 %, ja que la resta es perd. Per tant, la irradiació mínima de disseny es pren com  $4,25 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}$ .

Ara, doncs, es pot fer el càlcul de les hores solars pic (HSP), que és el numero d'hores que hauria d'haver una irradiació de  $1000 W/m^2$  per igualar la energia solar incident diàriament a un punt concret del planeta.

En aquest cas doncs,  $HSP = 4,25$

Es pot procedir, doncs, al càlcul del nombre de panells en paral·lel que s'han de col·locar per aconseguir subministrar aquesta energia:

$$n_{pp} = \frac{C'_{Req}}{\eta \cdot I_{mp} \cdot HSP}$$

El rendiment del mòdul fotovoltaic  $\eta$  és el rendiment que s'ha d'aplicar degut a la brutícia que es disposa sobre el vidre i a pèrdues per reflexió i opacitat del cristall. Es considera, generalment de 94%.

$I_{mp}$  és la corrent que ens subministra un panell en el punt de màxima potència. Aquesta dada depèn del panell que es compri. En aquest cas es de considera un total de 8 A, fitxa tècnica proporcionada per l'empresa Damià Solar.

Així doncs,

$$n_{pp} = \frac{195,93}{0,94 \cdot 8 \cdot 4,25} = 6,13$$

S'agafa com a nombre de panells en paral·lel és 7, ja que es tria l'enter automàticament superior.

El nombre de panells en sèrie es pot calcular de la següent forma:

$$n_{ps} = \frac{V_{nom}}{V_{mp}}$$

$V_{nom}$  s'ha escollit de 24 V, mentre que  $V_{mp}$  és el voltatge al punt de màxima potència del mòdul escollit. Aquesta dada depèn del panell i es pren de 37 V.

Per tant:  $n_{ps} = \frac{24}{37} = 0,65$

Es considera, doncs, que el nombre de plaques en sèrie ha de ser de 1.

És a dir, el nombre total de plaques que es necessita per aquesta instal·lació ha de ser un total de  $n_t = n_{ps} \cdot n_{pp} = 7$ . És a dir s'hauran de connectar 7 plaques/mòduls fotovoltaics en paral·lel.

Cada panell ocupa un total de  $1,5 \text{ m}^2$  i, per tant, el conjunt de panells ocuparan un total de  $10,5 \text{ m}^2$  (totalment assequible en comparació dels  $625 \text{ m}^2$  de superfície de sostre).

Ara que ja es té calculat el nombre de panells fotovoltaics, es procedeix al càlcul de la bateria, inversor i regulador.

Pel càlcul de la bateria s'han de determinar els següents paràmetres: duració de la descàrrega, corrent de descàrrega, temperatura de funcionament i tensió.

En primer lloc, s'ha de dimensionar la duració de la descàrrega. En un règim permanent, el sistema haurà d'impulsar aigua durant 4 hores, omplint el dipòsit des de 0,2 m fins a 2,7 m. Però el primer cop que s'impulsi aigua haurà d'omplir des de 0 metres fins a 2,7 metres d'altura del dipòsit, per tant, el temps que es triga a impulsar els  $10 \text{ m}^3$  treballant amb un cabal de  $2,34 \text{ m}^3/\text{h}$  és de 4,27 hores. Per tant, prendrem com a temps de descàrrega 5 hores (C5). Quan no es necessiti més aigua, però, s'obrirà el circuit i no es subministrarà més electricitat a la bomba.

El règim de treball es donarà amb una temperatura entre 20 i  $25^\circ\text{C}$ , per tant, no cal aplicar cap factor corrector ja que no es treballa amb temperatures que alterin el comportament de la bateria.

Per tant, la capacitat d'emmagatzematge és de:

$$C_e = \frac{C'_{Req} \cdot D_{auto}}{P_D} \cdot 100 = \frac{195,93 \cdot 1}{60} \cdot 100 = 326,55 \text{ Ah}$$

La profunditat de descàrrega és recomanable dissenyar-la amb 60-70 % ja que si la es descarrega més profundament el seu temps de vida útil es veu disminuït.

Per tant, ara ja es pot calcular la quantitat de bateries que es necessita. Si es tria una bateria bàsica, de l'empresa Damià Solar C5 amb capacitat  $C_{bat} = 345 \text{ Ah}$  i voltatge  $V_{bat} = 2 \text{ V}$ , es pot fer el càlcul de les bateries necessàries:

$$\text{Nombre de bateries en paral·lel: } n_{bp} = \frac{C_e}{C_{bat}} = \frac{326,55}{345} = 0,95 = 1 \text{ bateria en paral·lel.}$$

$$\text{Nombre de bateries en sèrie: } n_{bs} = \frac{V_{nom}}{V_{bat}} = \frac{24}{2} = 12 \text{ bateries en sèrie.}$$

Per tant, el nombre total de bateries és 12.

Ara ja s'ha dimensionat el sistema de bateries i, per tant, s'ha de determinar quin regulador de càrrega s'ha d'utilitzar. El regulador de càrrega simplement és aquell element que controla el procés de càrrega i descàrrega de la bateria.

El regulador és l'element que està situat entremig de les plaques i el inversor que connecta amb la bomba. Per tant, es dissenyarà sabent quina intensitat ha de suportar:

Màxima corrent proporcionada pel conjunt fotovoltaic:  $I_g = 1,2 \cdot n_{pp} \cdot I_{mp} = 1,2 \cdot 7 \cdot 8 = 67,2 \text{ A}$ .

Corrent consumida per la bomba:  $I_L = \frac{P_{bomba}}{\eta_{inv} \cdot V_{nom}} = \frac{684}{0,95 \cdot 24} = 30 \text{ A}$

Es considera que s'ha d'aplicar un factor de seguretat del 20 % a la corrent proporcionada pel conjunt fotovoltaic i que el rendiment de l'inversor és del 95 %. Per tant, la corrent mínima que ha de suportar el regulador de càrrega ha de ser 67,2 A.

$$I_{reg} = \max\{I_g; I_L\} = 67,2 \text{ A}$$

O s'hauria d'escollir un regulador on els borns d'entrada suportessin 67,2 A i els borns de sortida 30 A, per exemple.

D'altra banda, cal dissenyar l'inversor, que transforma la corrent contínua en alterna.

Com ja s'ha dit abans, es considera un rendiment del inversor  $\eta_{inv} = 0,95$  i, per tant, la potència del inversor serà de :

$$P_{inv} = \frac{P_{bomba}}{\eta_{inv}} = \frac{684}{0,95} = 720 \text{ W}$$

S'ha de triar, doncs, un inversor d'ona sinusoïdal de 50 Hz (ho requereix la bomba) amb una potència mínima de 720 W. D'altra banda, es considera un factor de potència ideal proper a  $\cos(\varphi) = 1$ , ja que la bomba només consumirà potència activa.

Un cop s'ha dimensionat la instal·lació, cal verificar algun dels càlculs que s'han fet durant aquest estudi, i es pot comprovar en primer lloc el temps de càrrega de les bateries. La capacitat d'emmagatzematge del sistema ha passat a ser de 345 Ah i quan els panells fotovoltaics estan generant electricitat a màxima intensitat generen un corrent de 67,2 A (havent aplicat un coeficient de seguretat del 20%). Així doncs, es trigarà un total de 5,13 hores a omplir la càrrega total de les bateries el primer cop, mentre que un cop ja s'hagi carregat per primera vegada, el regulador de càrrega està dissenyat per què no es

descarregui la bateria en menys d'un 60%, i per tant, en mitjana, en 3 hores la resta dels cops les bateries estaran carregades al màxim. Per tant, en ambdós casos és inferior a 6 hores (valor que s'havia proposat a l'apartat 6.7) i es pren com a correcte.

Finalment, cal comprovar que la potència que es subministra de les bateries fins la bomba és superior a 684 W, ja que també es contempla el rendiment del inversor i la caiguda de tensió a la línia que es prendrà d'un 5%:

$$\frac{C_e}{5} = \frac{345 \text{ Ah}}{5 \text{ h}} = 69 \text{ A}$$

$$69 \text{ A} \cdot P_d = 69 \cdot 0,6 = 41,4 \text{ A}$$

$$\text{Potència subministrada} = V \cdot I = 41,4 \cdot 24 = 993,6 \text{ W} > 684 \text{ W}.$$

Es pren, doncs, com a correcte.

Per tant, per aquesta instal·lació, s'ha de comprar un pack que contingui els següents elements amb els respectius preus, proporcionats per l'empresa Damià Solar:

- 7 plaques solars amb  $I_{mp} = 8 \text{ A}$  i  $V_{mp} = 37 \text{ V}$ : 1400 €
- 12 bateries C5 de capacitat  $C_{bat} = 345 \text{ Ah}$  i voltatge  $V_{bat} = 2 \text{ V}$ : 1760 €
- Regulador de mínima intensitat 67,2 A: 172 €
- Inversor de potència 720 W que converteixi el corrent continu en una ona pura de tipus sinusoidal de freqüència 50 Hz: 230 €

Pressupost total del elements = 3562 €

Cablejat per connectar els diferents elements = 400 €

Preu total del pack = **3962 €**

### 8.2.2. Sistema elèctric per pou propi

De la mateixa forma que s'ha fet el càlcul per al pou Water Source 1, es farà el càlcul del sistema elèctric que s'hauria d'instal·lar si es perforés un pou dins el terreny/pati de l'escola.

Es prendrà com a  $V_{nom} = 24 \text{ V}$  i potència a alimentar 404 W. Es procedeix a fer el mateix càlcul que l'apartat anterior.

En aquest cas, es pren un model de placa solar més econòmic amb  $I_{mp} = 5 \text{ A}$  i  $V_{mp} = 27 \text{ V}$ .

El pressupost total resulta de:

- 6 plaques solars amb  $I_{mp} = 5 \text{ A}$  i  $V_{mp} = 27 \text{ V}$  : 720 €
- 12 bateries C5 de capacitat  $C_{bat} = 190 \text{ Ah}$  i voltatge  $V_{bat} = 2 \text{ V}$ : 1500 €
- Regulador de mínima intensitat 36 A: 125 €
- Inversor de potència 426 W que converteixi el corrent continu en una ona pura de tipus sinusoïdal de freqüència 50 Hz: 160 €

Pressupost total dels elements = 2505 €

Cablejat elèctric = 200 €

Preu total del pack = **2705 €**

### 8.2.3. Rendiment de la instal·lació elèctrica

Per tal d'acabar de definir el sistema elèctric s'ha de calcular el rendiment global de les plaques solars i de la instal·lació:

La irradiació que arriba a la superfície de l'escola al mes més desfavorable és de  $4,25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$  i, realment, s'ha dimensionat el sistema per tal que generi la següent energia:  $C'_{Req} = 195,93 \frac{\text{Ah}}{\text{dia}}$ .

Per tant, com el voltatge nominal de la instal·lació es pren com 24 V, la potència que el conjunt de 7 plaques (en el cas d'usar WS1) és de:  $P = C'_{Req} \cdot V_{nom} = 4,702 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$

Com en total es tenen 7 plaques i cada placa ocupa un total de  $1,5 \text{ m}^2$ , la superfície total de plaques és de  $10,5 \text{ m}^2$ . Per tant, la radiació incident és de  $47,46 \frac{\text{kWh}}{\text{dia}}$ .

Per tant,  $\eta_{placa} = \frac{4,702}{47,46} \cdot 100 = 10,53 \%$  (Cas WS1).

Si es fa el mateix càlcul per el cas del sistema elèctric alimentant un pou propi el rendiment surt de ,  $\eta_{placa} = 7,14 \%$

Evidentment, però, si hi ha més irradiació el rendiment disminuirà, ja que les plaques solars no produiran més energia elèctrica.

Finalment, cal calcular el rendiment global de la instal·lació, des del punt en que les plaques ja han convertit energia solar en energia elèctrica fins que arriba a la bomba:

Considerant totes les pèrdues, s'ha determinat el següent:

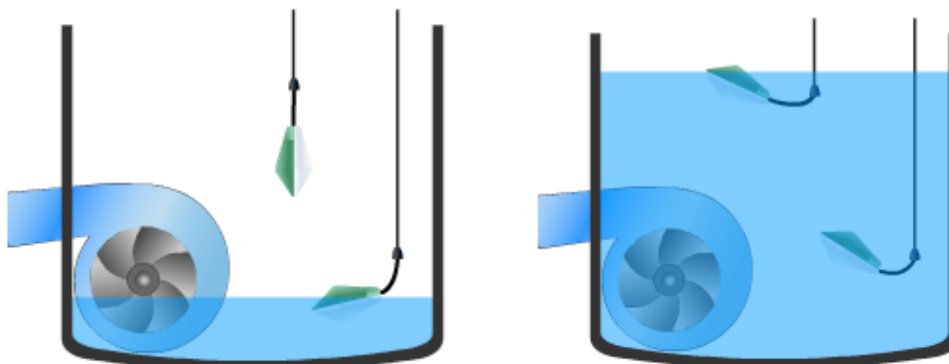
- Rendiment global = 65 %
- Rendiment de les connexions = 90 %

Per tant, el rendiment total de la instal·lació elèctrica és de:  $\eta_T = 58,50 \%$ .

#### 8.2.4. Sistema de control de la bomba

El sistema de control de l'aigua és independent de si s'extrau aigua des de WS1 o bé des del pou propi.

El primer que s'ha de dissenyar és el control del nivell del d'aigua del dipòsit, i aquest control es fa amb el que s'anomena interruptors de nivell. Aquesta tecnologia simplement utilitza dues boies que estan flotant dins el tanc a la posició que pertorqui, de tal manera que una boia és l'interruptor que obra el circuit i l'altre, la que el tanca.



*Figures 47 i 48: Funcionament dels interruptors de nivell.*

Les posicions de les boies estaran col·locades a 2,7 i a 0,2 metres dins el tanc per tal de garantir els 9300 litres cada 3 dies que l'escola necessita. Per tant, és un sistema molt senzill i fàcil d'utilitzar, que anirà connectat entre el regulador de càrrega i la bomba, per tal de garantir aquest control automàtic.

Finalment, caldrà instal·lar un altre interruptor de nivell al pou on està col·locada la bomba. En principi, la superfície lliure del pou estarà a 20 m de profunditat, mentre que la bomba es col·locarà a 25 m. Aleshores, per tal de garantir que la bomba no s'espalli en èpoques de sequera, s'ha de col·locar un interruptor a nivell a 24 metres de profunditat per tal d'evitar que la bomba impulsi aigua quan no n'hi hagi, i el sistema s'espalli.



És a dir, aquest segon interruptor a nivell obrirà el circuit si l'aigua baixa dels 24 metres de profunditat i, altrament, el deixarà obert.

Per tal de garantir que els interruptors del dipòsit i l'interruptor del pou funcionin simultàniament s'han de connectar en sèrie, creant així la funció electrònica AND.

La bomba només estarà connectada al sistema elèctric quan els dos interruptors estiguin tancats, que voldrà dir que la superfície lliure del pou estarà a menys de 24 metres de profunditat i que el dipòsit ha arribat al nivell de 0,2 metres.

S'estima el preu d'aquest sistema de control automàtic aproximadament a uns 25 €.

### 8.2.5. Esquema elèctric

A continuació, per tal de visualitzar millor la instal·lació elèctrica, s'ha construït un esquema amb els principals elements :

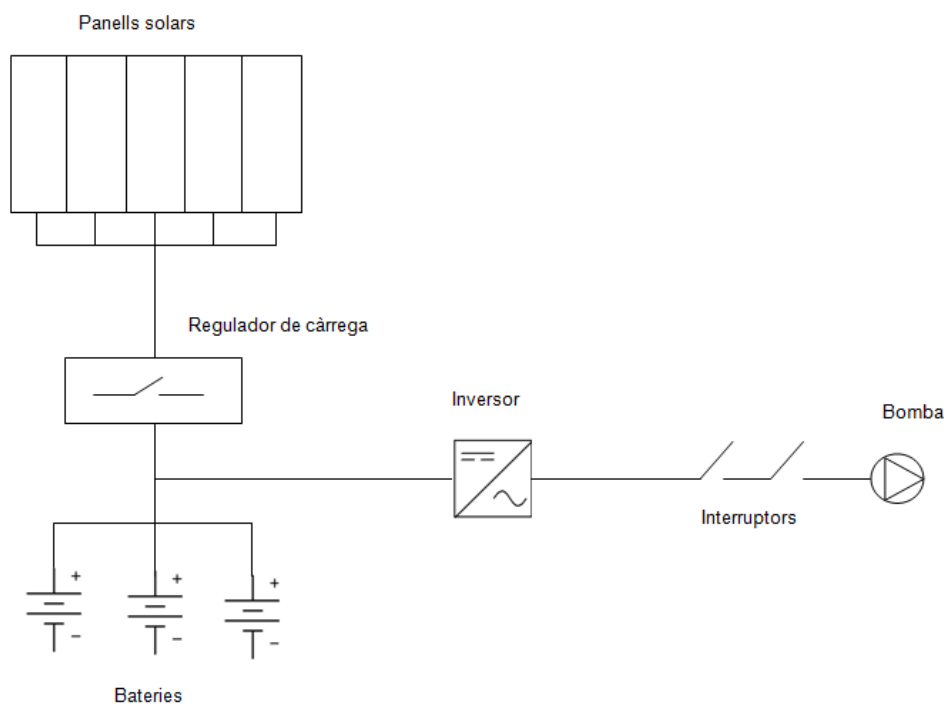


Figura 49: Esquema de la instal·lació elèctrica.

## 8.3. Control de la qualitat de l'aigua

La qualitat de l'aigua en aquest projecte juga un paper important, ja que gran part de l'aigua que s'aportarà a l'escola s'usarà directament per hidratar als alumnes. L'aigua que actualment s'utilitza és tipus subterrània/superficial, i els alumnes l'ingereixen sense cap

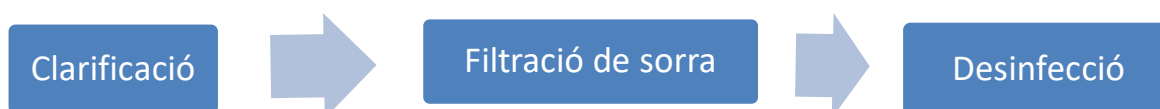
tipus de tractament previ. Normalment, però, aquestes aigües presenten un gran nombre de sòlids en suspensió, bactèries, algues i matèria orgànica que crea una mala olor i li dona un sabor dolent a l'aigua. Si aquesta aigua no es tracta d'una manera correcta, el que pot passar és que els alumnes agafin una malaltia com ara la diarrea o el paludisme, causa de mortalitat infantil a tot el continent Africà.

Per tant, doncs, es realitzarà dos tractaments diferents als 2 sistemes que subministren aigua a l'escola, amb dos usos totalment independents:

- Sistema de subministrament provinent del pou

El sistema que subministrarà aigua a l'escola s'utilitzarà, principalment, per beure i cuinar. Per tant, és una aigua que s'ha de tractar i manipular per fer-la potable pel consum humà, i evitar qualsevol tipus de malaltia.

El tractament convencional que se li aplica a aquest tipus d'aigües és el següent:



El procés de clarificació és aquell procés que consisteix en eliminar totes aquelles partícules, com ara sediments, olis i grasses, matèria orgànica natural, etc, per tal de clarificar l'aigua.

Tot i que els sòlids totals en suspensió (TDS) de l'aigua provinent del pou WS1 és de 150 ppm (es considera igual en cas que s'optés per l'opció de pou propi), es tracta d'un valor més petit que el límit màxim que estableix la normativa EPA i l'OMS de 500 ppm.

Tot i així, per tal d'acabar d'eliminar gran part d'aquesta matèria, s'aplicarà un primer procés de clarificació i filtrat de sorra junt, que consistirà en dues parts de filtratge progressiu entre la bomba i el dipòsit.

Primerament, es col·locarà a aquests sistema un filtre o una reixeta al punt on es desenterra la tuberia per accedir al dipòsit. Aquest filtre eliminarà partícules superiors als 1-5 mm de mida, com ara fulles, pedretes o sorra, etc. En segon lloc, es col·locarà un filtre més petit a l'entrada del dipòsit, de tipus cartutx. Amb aquest segon filtre, el que s'està fent és acabar de netejar el nombre total de sòlids en suspensió i fer un filtratge de sorra. Aquests filtres de cartutx filtren partícules amb un rang des de 0,5 fins a 150 micròmetres, i funcionen al màxim rendiment quan hi ha un total de 100 ppm de sòlids en suspensió. Per tant, és ideal per aquest sistema, ja que amb el primer filtre a la sortida de la bomba es rebaixarà el

nombre inicial de 150 ppm, i el filtre de cartutx acabarà de clarificar i netejar l'aigua.

Per tal d'obrir el circuit i netejar/renovar els filtres, s'aprofitarà la vàlvula a l'entrada del dipòsit per col·locar el filtre de cartutx. D'altra banda, però, es necessitarà una vàlvula addicional al punt on el circuit hidràulic es desenterra per tal de col·locar el primer filtre que farà la funció de desbast.<sup>4</sup>

Aquests tipus de filtres solen captar entre 3 i 6 Kg de sòlids en suspensió i sorra per cada metre quadrat de superfície de filtre.

Per tant, si l'aigua que s'està tractant arribarà al filtre de cartutx amb, aproximadament, 100 ppm de sòlids en suspensió:

$$100 \text{ ppm} = 100 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$\text{Quantitat de sòlids} = 100 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 9300 \frac{\text{l}}{\text{bombeig}} = 930.000 \frac{\text{mg}}{\text{bombeig}} = 0,93 \frac{\text{Kg}}{\text{bombeig}}$$

Si per cada cop que es bombeja aigua s'acumulen 0,93 Kg de sòlids en suspensió, utilitzant un filtre de 1 m<sup>2</sup> enrotllat dins el tub, s'haurà de canviar aproximadament cada 5 cops. És a dir cada 15 dies. Per tant, es requereixen 2 filtres d'aquest tipus al mes.

Un cop fet el procés de clarificació i neteja de la sorra, el que s'ha de fer és un procés d'eliminació dels micobacteris presents a l'aigua. Aquest procés de desinfecció es sol considerar com el pas més important de potabilització de l'aigua, ja que només l'eliminació dels microorganismes patògens evitarà la transmissió de malalties. A més, com es va poder veure a l'apartat 6.2 d'aquest treball, el potencial redox ORP és de 249 mV, força inferior a l'òptim de 650 mV. Per tant, la capacitat de desinfecció automàtica d'aquesta aigua és inferior al que hauria de ser. Per tal de solucionar aquest problema, es realitzarà un procés de cloració.

El clor és un producte perillós i corrosiu, que pot produir gasos tòxics i, per tant, s'ha de manipular amb certa cura i fora l'abast dels nens. Per tal de realitzar aquest procés de cloració s'ha d'analitzar prèviament l'aigua i calcular la demanda de clor necessària, que és la diferència entre la dosis aplicada i la concentració de clor residual lliure (CIRL).

El càlcul es pot fer seguint el següent procediment:

- 1) Preparar una solució de clor al 1 %.
- 2) Disposar d'uns recipients de volum conegut, per exemple, de 20 litres.

---

<sup>4</sup> Es consideren negligibles les pèrdues de càrrega singulars.

- 3) Omplir els recipients d'aigua a tractar i anar afegint a cada un una concentració de clor diferent ( 1 ml, 1,5 ml, 2 ml, etc).
- 4) Esperar 30 minuts i mesurar la CIRL a cada contenidor.
- 5) Escollir aquell que tingui una CIRL d'entre 0,2 i 0,5 mg/l.
- 6) Extrapolar la dosis al volum d'aigua del dipòsit de l'escola.

A Uganda, però, generalment no es realitza aquest assaig previ de càlcul, per falta d'instruments o coneixement, i es poden comprar pastilles per desinfectar 20 litres d'aigua directament, que val 0,004 € cada una. Per tant, si el que es vol és desinfectar 9300 litres d'aigua, es necessiten 465 pastilles amb un cost de 1,86 € cada 3 dies.

L'altre forma de realitzar el procés de cloració és mitjançant una bomba que reguli la quantitat de clor que s'ha d'anar injectant a l'aigua de forma automàtica i té un cost, aproximadament, de 200 €, però aquest tipus de bombes no es solen trobar ni utilitzar al país.

Per tant, per tal de simplificar el sistema, es realitzarà el procés de cloració mitjançant les pastilles, tot i que és recomanable prèviament fer el càlcul del CIRL in-situ per saber si realment per cada 20 litres de l'aigua que es tractarà en aquest projecte cal realment 1 pastilla o no.

- Sistema de subministrament provinent d'aigües pluvials

El sistema que subministrarà aigua des del dipòsit d'aigües pluvials s'utilitzarà per higiene íntima i sanejament, com per exemple neteja de latrines.

Com es tracta d'una aigua de tipus secundària si es compara amb la que s'utilitzarà per hidratació, simplement s'aplicarà el procés de clarificat sense el de cloració, ja que no necessàriament ha de ser potable, i així s'estalvia un cost extra.

Ja que no és una aigua que vindrà bruta de per sí, si no que s'embrutirà amb la matèria natural que contingui el teulat de l'escola, tan sols s'haurà d'incorporar un filtre d'entre 1 i 5 mm després del sistema first-flush que netejarà el sostre. A part, s'haurà de netejar i mantenir el teulat sovint, per garantir unes millors condicions d'aquesta aigua. S'haurà d'incorporar una vàlvula addicional per poder mantenir el filtre i el sistema en general.

## 9. Milliores WASH a l'escola Tapingwa

Finalment, un dels últims punts que es tractaran en aquest projecte seran les millores que s'han d'aplicar a l'escola per tal que tot el sistema global de subministrament d'aigua funcioni correctament.

### 9.1. Millora de les infraestructures WASH

Implementant el sistema que s'ha dissenyat al punt 8 d'aquest treball es pot aconseguir transportar i distribuir tota la quantitat d'aigua que es va proposar a l'inici d'aquest projecte. No obstant, però, no serveix de res tenir un sistema que proporcioni aigua per millorar la qualitat de vida i la higiene dels alumnes a l'escola sense tenir la infraestructura adequada: latrines i bidets.

És per aquest motiu que s'ha pensat en tirar a terra i sellar les latrines més antigues o que tinguin menys capacitat i construir-ne 15 de noves. Cal recordar que actualment només hi ha 10 latrines per l'escola, i per tant, es proposa tirar-ne a terra les 6 pitjors que estiguin en més mal estat. Amb les 4 restants i les 15 noves, sumaran el total de 19 latrines que és el que estableix el projecte esfera per la capacitat actual de l'escola ( consultar punt 5.2).

A més, però, és necessari construir una zona de bidets per la higiene íntima de les dones en l'època de la menstruació, just al costat de les noves latrines que es construiran.

El pressupost total per implementar aquests dos recursos és de 15.000 €, tal i com ha confirmat l'entitat KoomConsulting.

### 9.2. Anàlisi de Riscs

Per tal de concloure aquesta secció s'ha fet un anàlisi de riscos. El problema principal i que es tracta de resoldre és la falta d'aigua a l'escola i, per tant, es presenten a continuació quines activitats poden generar aquests fallo i quines possibles solucions hi ha:

Fallo	Causa	Tipus	Conseqüències	Possibles solucions
	Falla el sistema elèctric	Greu	La bomba no estarà alimentada i no arribarà aigua a l'escola.	Reparació immediata mitjançant un tècnic elèctric a Uganda.

Falta aigua a l'escola	Falla la bomba hidràulica	Greu	La bomba deixa de funcionar i no arribarà aigua a l'escola.	Reparació immediata mitjançant un tècnic de bombes mecàniques.
	Embús de les canonades	Mitjà	Tap que obstaculitza l'arribada d'aigua a l'escola.	Obertura del circuit hidràulic per tal de mantenir-lo.
	Fuga/esquerda a les canonades	Mitjà	Es perd l'aigua provinent del pou.	Aplicació de resina impermeable per tal de tancar la fuga.
	Condicions meteorològiques adverses (més de 3 dies de pluja consecutius)	Greu	Les bateries elèctriques no es carreguen i no es pot subministrar aigua a l'escola.	- Recórrer al punt WS3 amb garrafes d'aigua de 20 litres. - Potabilitzar el tanc d'aigües pluvials.
	Augmenta la capacitat de l'escola	Mitjà	Ni la bomba ni el sistema elèctric actual funcionaran.	Invertir diners en el recanvi de la bomba, dipòsit i elements elèctrics.
	Disminueix el nivell d'aigua del pou	Lleu	La bomba es queda sense aigua.	Comprar 10 metres extres de canonada per quan passi això.
	Les plaques solars es cobreixen de pols	Lleu	El rendiment global de la instal·lació baixa.	Neteja i manteniment periòdic de la instal·lació
	Consum excessiu i desmesurat de l'aigua	Greu	Assecament de l'aquífer.	Regulació i control de l'ús de l'aigua per part dels membres de gestió de l'escola.
	No es troba un aquífer sota el terreny de l'escola	Lleu	No es pot excavar un pou d'ús propi. Pèrdua de diners	S'haurà d'utilitzar el punt WS1.
	Acte vandàlic a l'escola	Greu	Sistemes hidràulics o elèctrics malmesos. Pèrdua de diners	Reparació o compra dels elements afectats.

Taula 17: Anàlisi de riscos.

## 10. Impacte ambiental

Per tal de concloure aquest treball, en aquesta secció s'estudiarà l'impacte ambiental que pot tenir la implementació d'aquest projecte, on un dels primers punts que cal tractar és el reciclatge dels materials que s'han utilitzat, per tal de garantir un disseny ecològic i sostenible.

En primer lloc, totes les canonades i un dels dos dipòsits que s'han dissenyat per aquest projecte estaran construïts amb plàstic de tipus HPDE, totalment reciclable. De fet, li correspon al número 2 de la codificació de reciclatge de plàstics. Per tant, quan la vida útil d'aquests elements hidràulics s'acabi, es podran reciclar per tal de construir altres elements, com ara envasos, ampolles, etc.

En segon lloc, el reciclatge de les instal·lacions fotovoltaïques cada cop és un procés més òptim, on actualment, es pot reciclar un 85 % de tota la instal·lació solar. Aquest tipus d'instal·lacions es reciclen primer de tot separant el marc d'alumini dels mòduls i després s'apliquen processos mecànics i químics per separar els diverses làmines. Es poden reciclar les làmines d'alumini, els vidres, els conductors de coure i el silici per reutilitzar-los un altre cop a la indústria, per exemple per generar instal·lacions noves.

En tercer i últim lloc, les bombes que s'han implementat en aquest projecte estan fetes d'acer inoxidable, tal i com es pot veure a l'annex I. L'acer inoxidable també es pot reciclar al final de la vida útil de les bombes, i per això s'utilitzen processos mecànics de diverses etapes, com ara el cisallat, separació de materials fèrrics mitjançant tambors magnètics i posteriorment una fundició, per tal de tornar a fabricar nous productes.

D'altra banda, un altre dels punts importants a tractar és quina implicació ambiental pot tenir la construcció d'un pou privat per l'escola. L'explotació dels recursos hídrics subterranis sempre són un cas a tractar a part, i és un tema que s'ha de gestionar des de les entitats que estudien els recursos hídrics a Uganda, com ara Busoga Trust. Aquest fet requereix un estudi apart, on s'ha d'estudiar quina mida tenen els aqüífers sota el terreny de l'escola (si n'hi ha), quina és la seva regeneració, percentatge de pluja que s'infiltra cap a l'aqüífer, etc. Aquesta temàtica s'ha d'estudiar in-situ mitjançant tecnologies diverses, com per exemple un sondeig, on s'ha d'analitzar si és viable extreure tota la quantitat d'aigua que es pretén sense causar un dany al medi ambient. Tot i així, els experts de la zona han assegurat que no hi ha cap problema en realitzar aquest tipus d'extraccions i, de fet, és una pràctica molt habitual a Uganda i al resta de l'Àfrica.

Per tant, doncs, es pot afirmar que la implantació d'aquest projecte no té connotacions negatives davant del medi ambient.

## 11. Pressupost del projecte

A continuació es mostrarà en forma de taula el pressupost de construcció de tot el projecte de millora WASH de l'escola Tabinawa:

- Opció A: Ús del pou d'aigua WS1.
- Opció B: Construcció d'un pou propi per l'escola

Element de la instal·lació	Preu unitari	Unitats (A)	Total (A)	Unitats (B)	Total (B)	Compra Local
Sist. Hidràulic						
Excavació del pou	10.000 €	-	-	1	10.000 €	Sí
Tanc d'aigua (10 m³)	800 €	1	800 €	1	800 €	Sí
Torre metàl·lica (1,5 m)	1500 €	1	1.500 €	1	1.500 €	Sí
Bomba hidràulica	Variable	1	375 €	1	240 €	No
Conducte 25,4 mm de diàmetre HPDE	2 €/100 m	370 m	7,4 €	120 m	2,4 €	Sí
Vàlvules	2 €	7	14 €	7	14 €	Sí
Aixetes	2 €	8	16 €	8	16 €	Sí
Interruptors boia	8 €	3	24 €	3	24 €	No
Sistema pluvial	807 €	1	807 €	1	807 €	Sí
Garrafes 10 litres	1,04 €	10	10,4 €	10	10,4 €	Sí
Garrafes 20 litres	2,06 €	10	20,6 €	20	20,6 €	Sí
First Flush	50 €	1	50 €	1	50 €	Sí
Sist. Elèctric						



Panells solars	Variable	7	1400 €	6	720 €	No
Bateries	Variable	12	1760 €	12	1500 €	No
Regulador	Variable	1	172 €	1	125 €	No
Inversor	Variable	1	230 €	1	160 €	No
Cablejat	Variable	350 m	400 €	100 m	200 €	No
<b>Altres</b>						
Zona de fonts al pati de l'escola	600 €	1	600 €	1	600 €	Sí
15 latrines noves + bidets	15.000 €	1	15.000 €	1	15.000 €	Sí
Mà d'obra <sup>5</sup>	-	-	-	-	-	-
Transport <sup>6</sup>	-	-	500 €	-	500 €	-
<b>TOTAL</b>			<b>23.686,4 €</b>		<b>32.289,4 €</b>	
<b>Mensualment</b>						
Pastilles de clor	0,004 €	4650	18,6 €	4650	18,6 €	Sí
Filtre A	7 €	2	14 €	2	14 €	Sí
Filtre B	3 €	1	3 €	1	3 €	Sí
Pastilla Sabó	0,05 €	500	25 €	500	25 €	Sí
Pack tovalloles íntimes AFRIPAD.	0,2 €	3	0,6 €	3	0,6 €	Sí
<b>TOTAL</b>			<b>61,2 €</b>		<b>61,2 €</b>	

Taula 18 : Pressupost general del projecte.

<sup>5</sup> La mà d'obra tindrà un cost 0, ja que es durà a terme per voluntaris.

<sup>6</sup> Transport dels elements hidràulics o elèctrics que es comprin a Espanya i s'enviïn a Uganda.

Com es pot observar, doncs, el cost d'implementar l'opció B és 8.600 € més car que l'opció A, però en canvi, a nivell social és més interessant poder disposar de l'opció B, ja que es considera que no generarà problemes amb els veïns del voltant.

Queda a decisió del comitè de gestió de l'escola quina és l'opció que més els interessa, i si estan disposats a assumir els 8.600 € de diferència que costaria de més construir un pou privat per ús exclusiu de l'escola.

## Conclusions

A mode de conclusió i per finalitzar aquest projecte, s'analitzaran els resultats que s'han anat obtenint a cada secció i se'n farà una valoració conjunta.

El primer que es va fer en aquest treball va ser localitzar geogràficament l'escola Tapingwa per tal de focalitzar i centralitzar l'estudi.

Un cop localitzada l'escola, a partir d'un fons d'informació privat de l'entitat KoomConsulting, es va analitzar la situació actual WASH de l'escola Tapingwa, que inclou un informe tècnic dels nivells de subministrament d'aigua actuals, higiene i sanejament. Comparant-los amb situació estàndard que regula el projecte esfera per ajuda humanitària, es va arribar a la conclusió que els nivells de subministrament d'aigua estan molt per sota dels mínims requerits per garantir unes condicions de vida estables (dins de la pobresa) i garantir les necessitats bàsiques per la supervivència.

Així doncs, també va ésser d'interès analitzar les condicions meteorològiques de la zona, que donarien posteriorment un suport a l'anàlisi d'alternatives per l'obtenció d'energia.

Per tal de solucionar el problema que presenta l'estat WASH actual de l'escola, es van analitzar totes les alternatives possibles per fases: extracció d'aigua, transport, energies emmagatzematge i distribució. Poc a poc, però, a mesura que s'anaven estudiant els sistemes per separat, s'anaven deduint quines alternatives eren viables i quines no, descartant-les progressivament. Un cop es van estudiar tots els sistemes per separat, es va fer un assemblatge d'aquelles millors alternatives que garantien la viabilitat econòmica, tècnica i social. Al final, doncs, es va deduir que els únics sistemes viables eren els següents:

- 1) Extracció de WS1 + Aigües pluvials → Transport automàtic (Bomba hidràulica) → Alimentada per energia solar fotovoltaica → Emmagatzematge amb un dipòsit alçat → Distribució per gravetat.
- 2) Extracció d'un pou propi + Aigües pluvials → Transport automàtic (Bomba hidràulica) → Alimentada per energia solar fotovoltaica → Emmagatzematge amb un dipòsit alçat → Distribució per gravetat.

Així doncs, es va tractar d'analitzar els dos sistemes per separat, per tal de poder presentar les dues opcions amb el seu pressupost al final d'aquest projecte, per tal de que els

interessats decideixin quina opció els hi és de més interès.

Es va calcular per cada sistema viable (1 i 2) quina era la instal·lació hidràulica que li corresponia, fent-ne la selecció de la bomba. A més, aquesta bomba estaria alimentada per un sistema elèctric que provenia d'una font d'energia renovable: la solar fotovoltaica. Per tant, doncs, es va dimensionar el sistema elèctric per tal d'acabar traient-ne un pressupost per cada una de les alternatives.

Comptant que l'opció 2 requereix un cost de 10.000 € més que l'opció 1 per l'excavació del pou al jardí de l'escola, els equips hidràulics i elèctrics són més petits i, per tant, més econòmics. És per aquest motiu que la diferència final de preu entre ambdues opcions és de 8.600 €, un marge que els interessats hauran d'assumir si volen disposar d'un pou exclusiu per Tapingwa.

Finalment, i a mode de conclusió personal, aquest treball per mi ha suposat un repte, ja que cada pas que avançava s'obrien moltes alternatives de disseny que s'havien d'anar tancant per tal d'encaminar el projecte. Al final, però, s'ha aconseguit fer el càlcul hidràulic per l'escola satisfactòriament, complementat d'un petit dimensionament d'una instal·lació solar elèctrica.

D'altra banda, aquest treball s'ha realitzat per tal de donar-lo a l'ONG Petits Detalls, que té en marxa varis projectes. Un d'ells, que és amb el que s'ha basat aquest treball, el gestiona KoomConsulting i podrà disposar d'aquest TFG lliurement, per tal d'extreure'n qualsevol informació, si en té algun interès.

Al mes de Febrer del 2017 comencen les tasques de millora a l'escola Tapingwa, i espero que aquest projecte serveixi per millorar les condicions actuals.

## Agraïments

M'agradaria agrair el suport que he rebut per part de totes aquelles persones que m'han ajudat en algun moment d'aquest treball de final de grau, ja que sense elles no hauria sigut possible la seva elaboració.

En concret,

A l'Esteve per haver guiat la meva proposta inicial i haver dirigit aquest treball.

Al Tarik Smith per proporcionar-me informació del projecte i haver-me donat l'oportunitat de participar en el projecte Smiles for Luuka.

A l'ONG Petits Detalls per la important labor que està realitzant a Uganda.


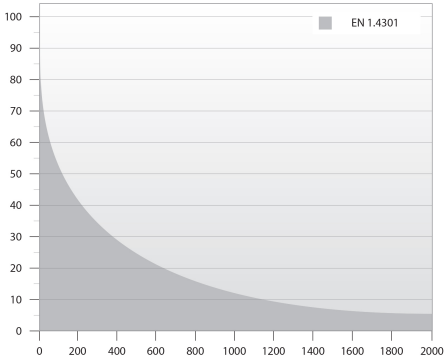
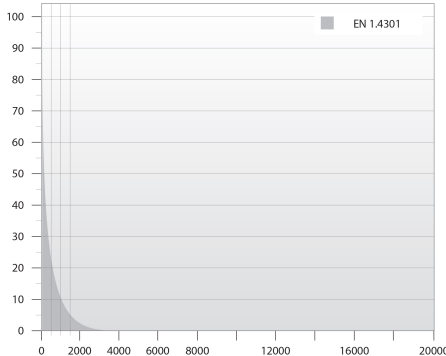
Als companys de SENER per l'ajuda i suport tècnic.

# Bibliografia

## Referències bibliogràfiques

- [1] Koom Consulting - *Fons d'informació privat*.
- [2] Manual del Proyecto Esfera – *Carta humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria*.
- [3] Frank M. White – *Fluid Mechanics*.
- [4] Larry Bachus & Angel Custodio – *Know and Understand Centrifugal Pumps*.
- [5] Fernández Salgado, José M. - *Compendio de energía solar : fotovoltaica, térmica y termoeléctrica*.
- [6] Universitat Politècnica de Catalunya – *Mecànica de Fluids*.
- [7] ONG Petits Detalls - <http://www.petitsdetalls.org/es/>
- [8] OMS - <http://www.who.int/es/>
- [9] EPA - <https://www.epa.gov/>
- [10] PVGIS - <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [11] Windy TV - <https://www.windytv.com/?41.398,2.174,6>
- [12] Busoga Trust - <http://www.busogatrust.co.uk/>
- [13] Water aid - <http://www.wateraid.org/uk>
- [14] UNBS - <https://www.unbs.go.ug/>
- [15] UMEME - <http://www.umeme.co.ug/>
- [16] Damià Solar - <http://www.damiasolar.com/>
- [17] Grundfos - <http://es.grundfos.com/>
- [18] Lenntech - <http://www.lenntech.es/>
- [19] Smile Tank - <http://www.smileplast.com/>

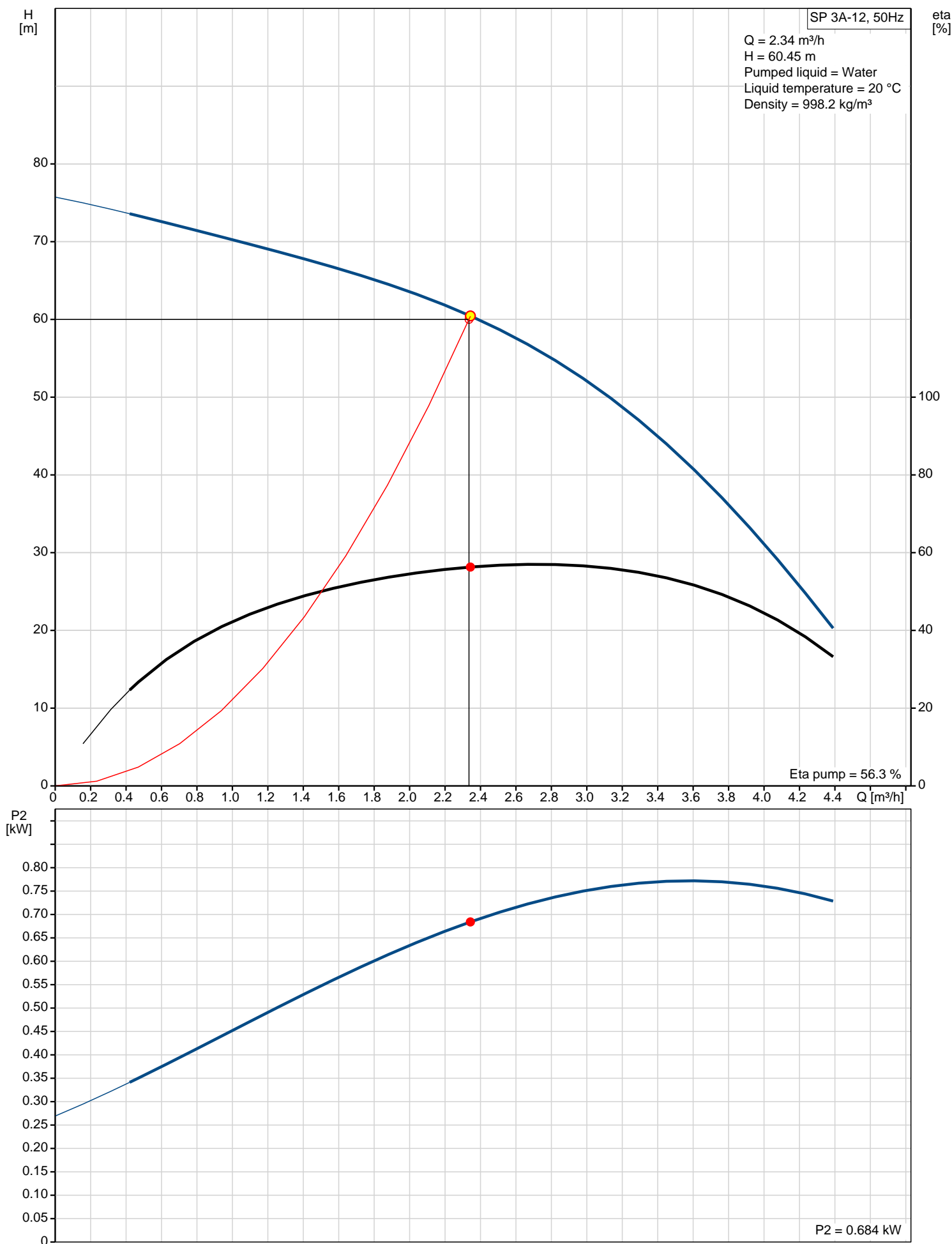
## ANNEX I

Position	Qty.	Description
	1	<p><b>SP 3A-12</b></p>  <p><b>Note! Product picture may differ from actual product</b></p> <p>Product No.: On request</p> <p>Submersible borehole pump, suitable for pumping clean water. Can be installed vertically or horizontally. All steel components are made in stainless steel, EN 1.4301 (AISI 304), that ensures high corrosive resistance. This pump carries drinking water approval.</p> <p><b>Further product details</b></p> <p>The pump is suitable for applications similar to the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- raw-water supply</li> <li>- irrigation</li> <li>- groundwater lowering</li> <li>- pressure boosting</li> <li>- fountain applications.</li> </ul> <p><b>Pump</b></p> <p>All pump surfaces that are in contact with pumped liquids are made in stainless steel which makes them corrosion- and wear-resistant. The corrosion diagram below shows the capabilities of the pump and motor in relation to the temperature in Celsius (y-axis) and the concentration of chloride in ppm (x-axis).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>The elastomer parts in the pump are made of NBR (Nitrile-Butadiene Rubber) and TPU (Thermoplastic Poly-Urethane) which offers good wear resistance and long service intervals.</p> <p>The top chamber features a built-in non-return valve to prevent backflow and reduce the risk of water hammer.</p> <p>The suction interconnector is fitted with a strainer to prevent large particles from entering the pump. The suction interconnector is designed to comply with NEMA standards for motor mounting/dimensions.</p> <p><b>Motor</b></p> <p><b>Liquid:</b></p> <p>Pumped liquid: Water</p> <p>Maximum liquid temperature: 40 °C</p> <p>Liquid temp: 20 °C</p> <p>Density: 998.2 kg/m³</p> <p><b>Technical:</b></p> <p>Speed for pump data: 2900 rpm</p> <p>Actual calculated flow: 2.34 m³/h</p> <p>Resulting head of the pump: 60.45 m</p> <p>Curve tolerance: ISO9906:2012 3B</p>

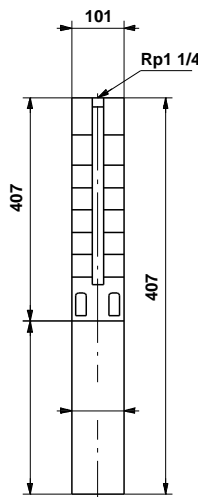
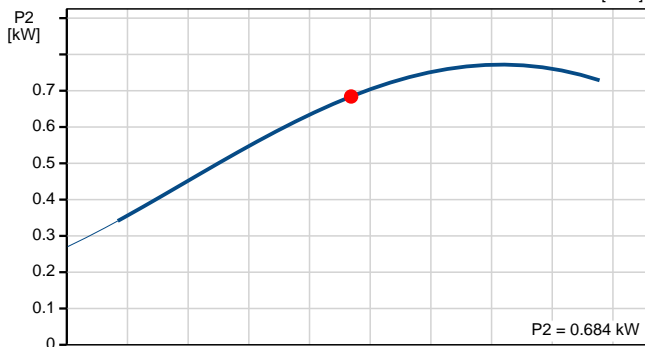
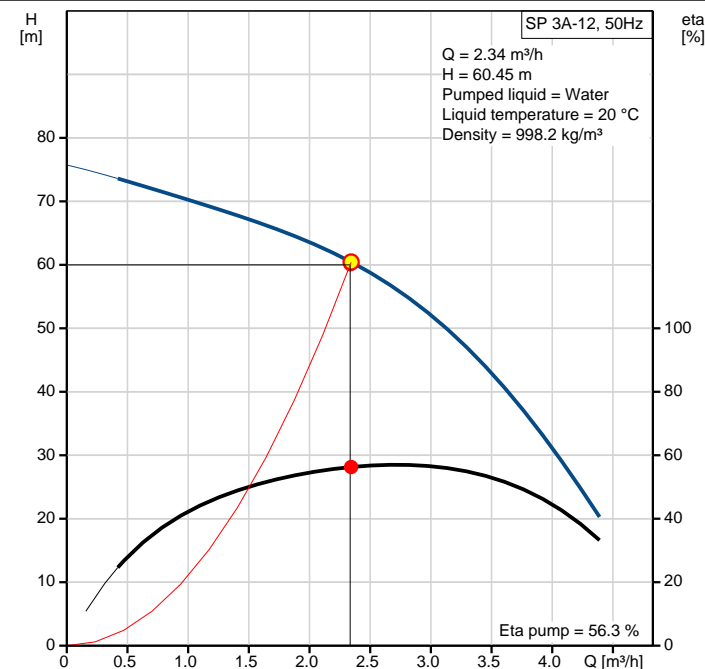


Position	Qty.	Description
		<div> <div>Materials:</div> <div> <div>Pump:</div> <div> Stainless steel  DIN W.-Nr. 1.4301 </div> </div> <div> <div>Impeller:</div> <div> Stainless steel  DIN W.-Nr. 1.4301 </div> </div> </div> <div> <div>Installation:</div> <div> <div>Pump outlet:</div> <div>Rp1 1/4</div> </div> <div> <div>Motor diameter:</div> <div>4 inch</div> </div> </div> <div> <div>Others:</div> <div> <div>Minimum efficiency index, MEI</div> <div>: 0.70</div> </div> <div> <div>ErP status:</div> <div>EuP Standalone/Prod.</div> </div> <div> <div>Net weight:</div> <div>4 kg</div> </div> <div> <div>Gross weight:</div> <div>5.8 kg</div> </div> <div> <div>Shipping volume:</div> <div>0 m³</div> </div> </div>

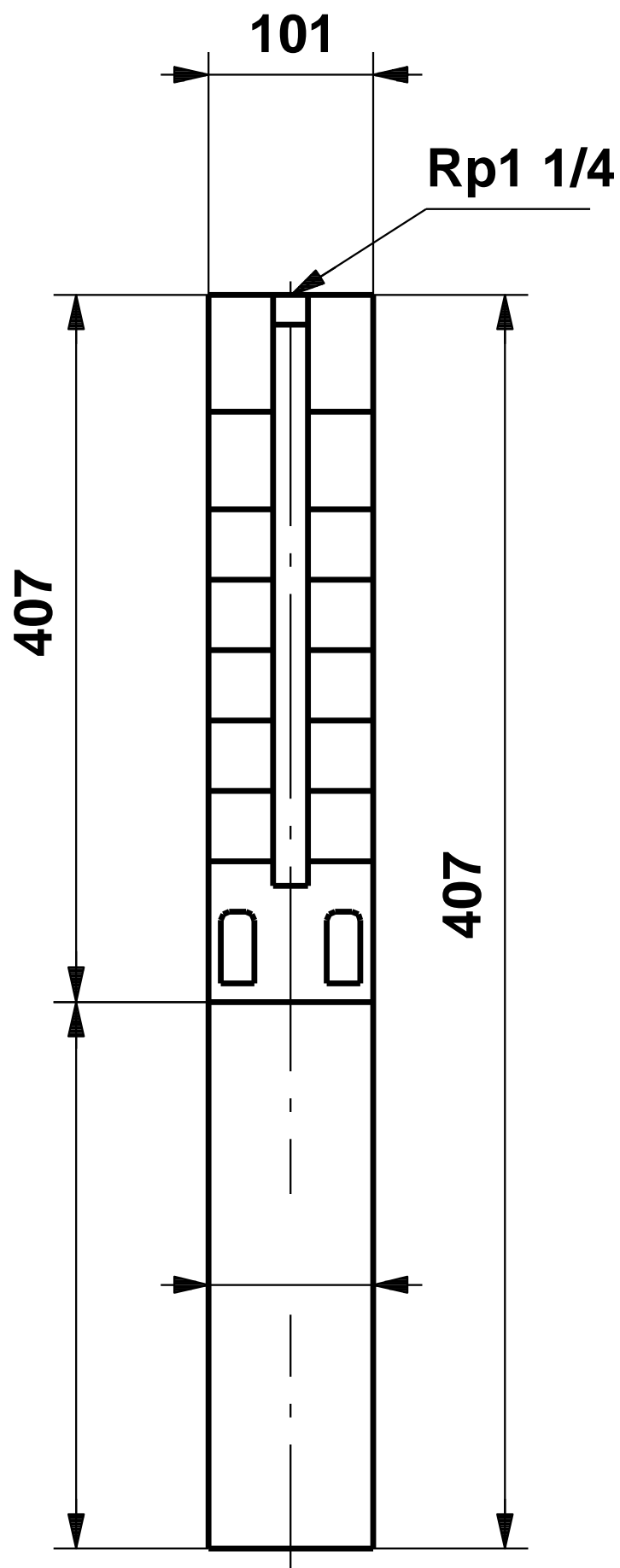
## On request SP 3A-12 50 Hz



Description	Value
<b>General information:</b>	
Product name:	SP 3A-12
Product No:	On request
EAN number:	On request
<b>Technical:</b>	
Speed for pump data:	2900 rpm
Actual calculated flow:	2.34 m³/h
Resulting head of the pump:	60.45 m
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B
Pump type:	SP3A
Stages:	12
Model:	A
Valve:	pump with built-in non-return valve
<b>Materials:</b>	
Pump:	Stainless steel DIN W.-Nr. 1.4301
Impeller:	Stainless steel DIN W.-Nr. 1.4301
<b>Installation:</b>	
Pump outlet:	Rp1 1/4
Motor diameter:	4 inch
<b>Liquid:</b>	
Pumped liquid:	Water
Maximum liquid temperature:	40 °C
Liquid temp:	20 °C
Density:	998.2 kg/m³
<b>Electrical data:</b>	
Applic. motor:	NEMA
<b>Others:</b>	
Minimum efficiency index, MEI :	0.70
ErP status:	EuP Standalone/Prod.
Net weight:	4 kg
Gross weight:	5.8 kg
Shipping volume:	0 m³



On request SP 3A-12 50 Hz



Note! All units are in [mm] unless others are stated.  
Disclaimer: This simplified dimensional drawing does not show all details.



**Company name:** Lenntech BV  
**Created by:** Maksim Tkatchouk  
**Phone:**  
**Email:** maksim@lenntech.com  
**Date:** 19/12/2016

---

**Order Data:**

Product name: SP 3A-12  
Amount: 1  
Product No: On request

Total: Price on request

---

Position	Qty.	Description
----------	------	-------------

1	SP 5A-6N
---	----------



**Note! Product picture may differ from actual product**

Product No.: On request

Submersible borehole pump, suitable for pumping clean water. Can be installed vertically or horizontally. All steel components are made in stainless steel, EN 1.4401 (AISI 316), that ensures high corrosive resistance.

The pump is fitted with a 2.2 kW MS4000 motor with sand shield, mechanical shaft seal, water-lubricated journal bearings and a volume compensating diaphragm. The motor is a canned type submersible motor offering good mechanical stability and high efficiency. Suitable for temperatures up to 40 °C.

The motor is not fitted with a temperature sensor. If temperature monitoring is desired, a Pt1000 sensor can be fitted. The motor is for direct-on-line starting (DOL).

### Further product details

The pump is suitable for applications similar to the following:

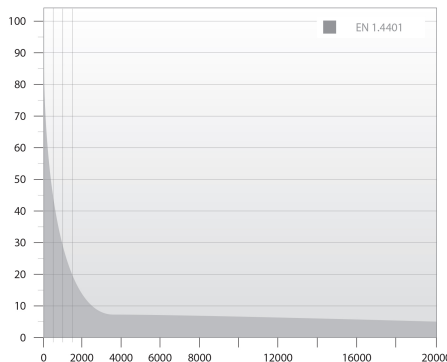
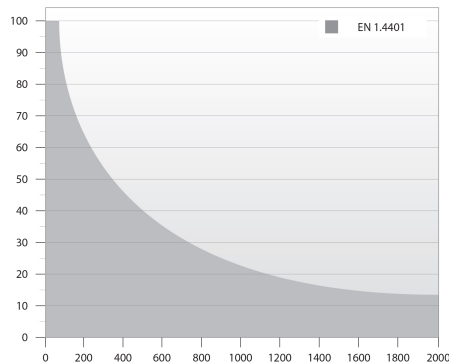
- raw-water supply
- irrigation
- groundwater lowering
- pressure boosting
- fountain applications
- mining applications
- off-shore applications.

The Grundfos SP pump is renowned for its high efficiency and already complies with the requirements of the Minimum Efficiency Index, and therefore Grundfos is amongst the best in class within submersible pumps.



### Pump

All pump surfaces that are in contact with pumped liquids are made in stainless steel which makes them corrosion- and wear-resistant. The corrosion diagram below shows the capabilities of the pump and motor in relation to the temperature in Celsius (y-axis) and the concentration of chloride in ppm (x-axis).



The elastomer parts in the pump are made of NBR (Nitrile-Butadiene Rubber) and TPU (Thermoplastic Poly-Urethane) which offers good wear resistance and long service intervals.

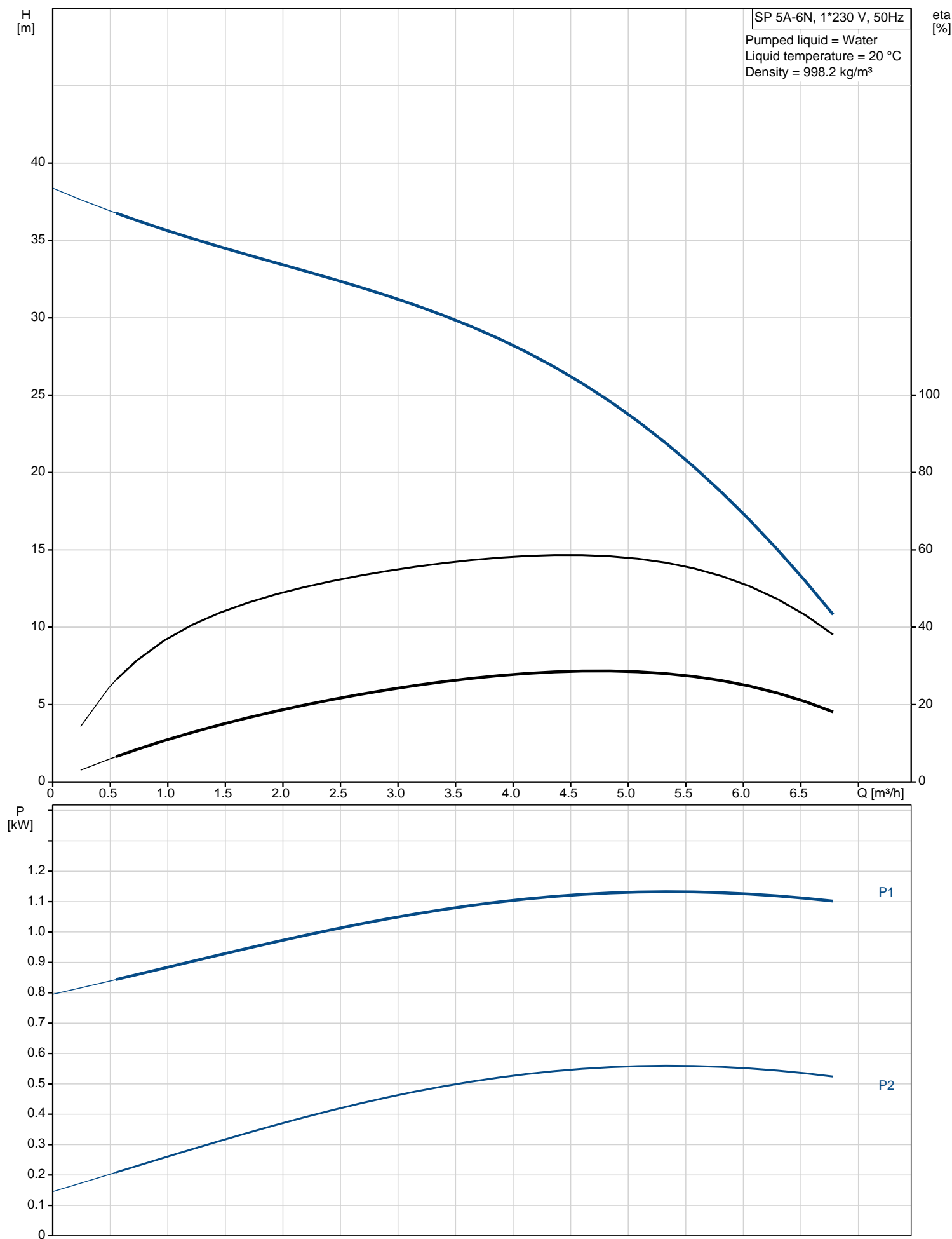
The top chamber features a built-in non-return valve to prevent backflow and reduce the risk of water hammer.

The suction interconnector is fitted with a strainer to prevent large particles from entering the pump. The suction interconnector is designed to comply with NEMA standards for motor mounting/dimensions.

### Motor

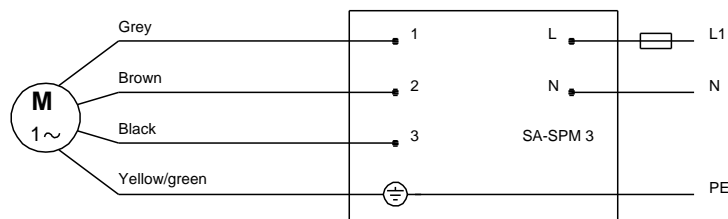
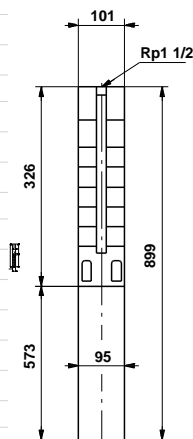
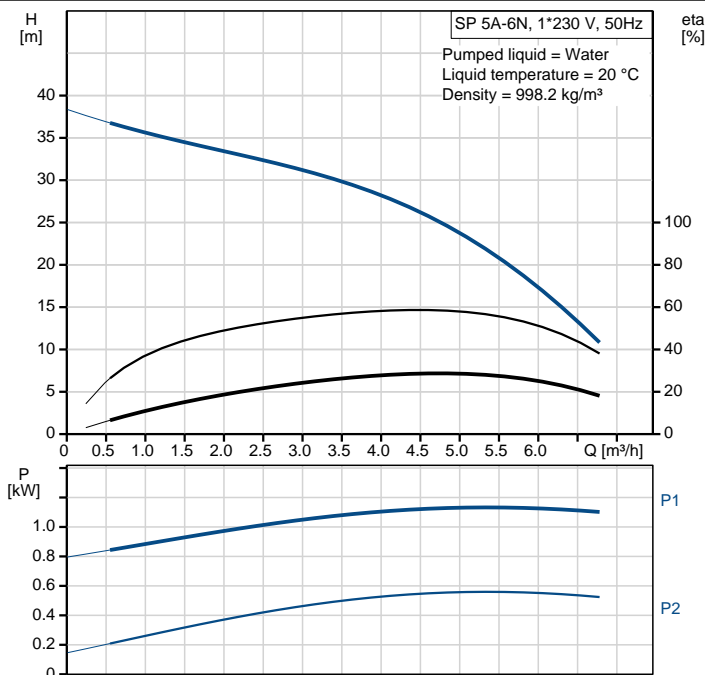
Position	Qty.	Description
		<p>The stator is hermetically encapsulated in stainless steel and the windings are embedded in polymer compound. This results in high mechanical stability, optimum cooling and reduces the risk of short circuits in the windings.</p> <p>The shaft seal faces are SiC/SiC. The material combination gives good performance when abrasive particles (sand) is present. Together with the shaft seal housing, the sand shield forms a labyrinth seal, which during normal operating conditions prevents penetration of sand particles into the shaft seal. This shaft seal is drinking water approved.</p> <p>The motor can be fitted with a Pt100 or Pt1000 sensor that together with a control unit ensures that the maximum operating temperature conditions are not exceeded.</p> <p><b>Liquid:</b></p> <p>Pumped liquid: Water</p> <p>Maximum liquid temperature: 40 °C</p> <p>Max liquid t at 0.15 m/sec: 40 °C</p> <p>Liquid temp: 20 °C</p> <p>Density: 998.2 kg/m³</p> <p><b>Technical:</b></p> <p>Speed for pump data: 2900 rpm</p> <p>Rated flow: 5 m³/h</p> <p>Rated head: 25 m</p> <p>Shaft seal for motor: SIC/SIC</p> <p>Curve tolerance: ISO9906:2012 3B</p> <p><b>Materials:</b></p> <p>Pump: Stainless steel EN 1.4401</p> <p>Impeller: Stainless steel EN 1.4401</p> <p>Motor: Stainless steel DIN W.-Nr. 1.4539 AISI 904 L</p> <p><b>Installation:</b></p> <p>Pump outlet: Rp1 1/2</p> <p>Motor diameter: 4 inch</p> <p><b>Electrical data:</b></p> <p>Motor type: MS4000</p> <p>Type of motor: CSCR</p> <p>Rated power - P2: 2.2 kW</p> <p>Mains frequency: 50 Hz</p> <p>Rated voltage: 1 x 220-230 V</p> <p>Rated current: 14,6-14,0 A</p> <p>Starting current: 540-600 %</p> <p>Cos phi - power factor: 0,96-0,96</p> <p>Rated speed: 2850-2870 rpm</p> <p>Start. method: direct-on-line</p> <p>Enclosure class (IEC 34-5): IP68</p> <p>Insulation class (IEC 85): F</p> <p>Built-in temp. transmitter: no</p> <p><b>Others:</b></p> <p>Minimum efficiency index, MEI : 0.56</p> <p>ErP status: EuP Standalone/Prod.</p> <p>Net weight: 25.8 kg</p> <p>Gross weight: 27.6 kg</p> <p>Shipping volume: 12 m³</p>

## On request SP 5A-6N 50 Hz

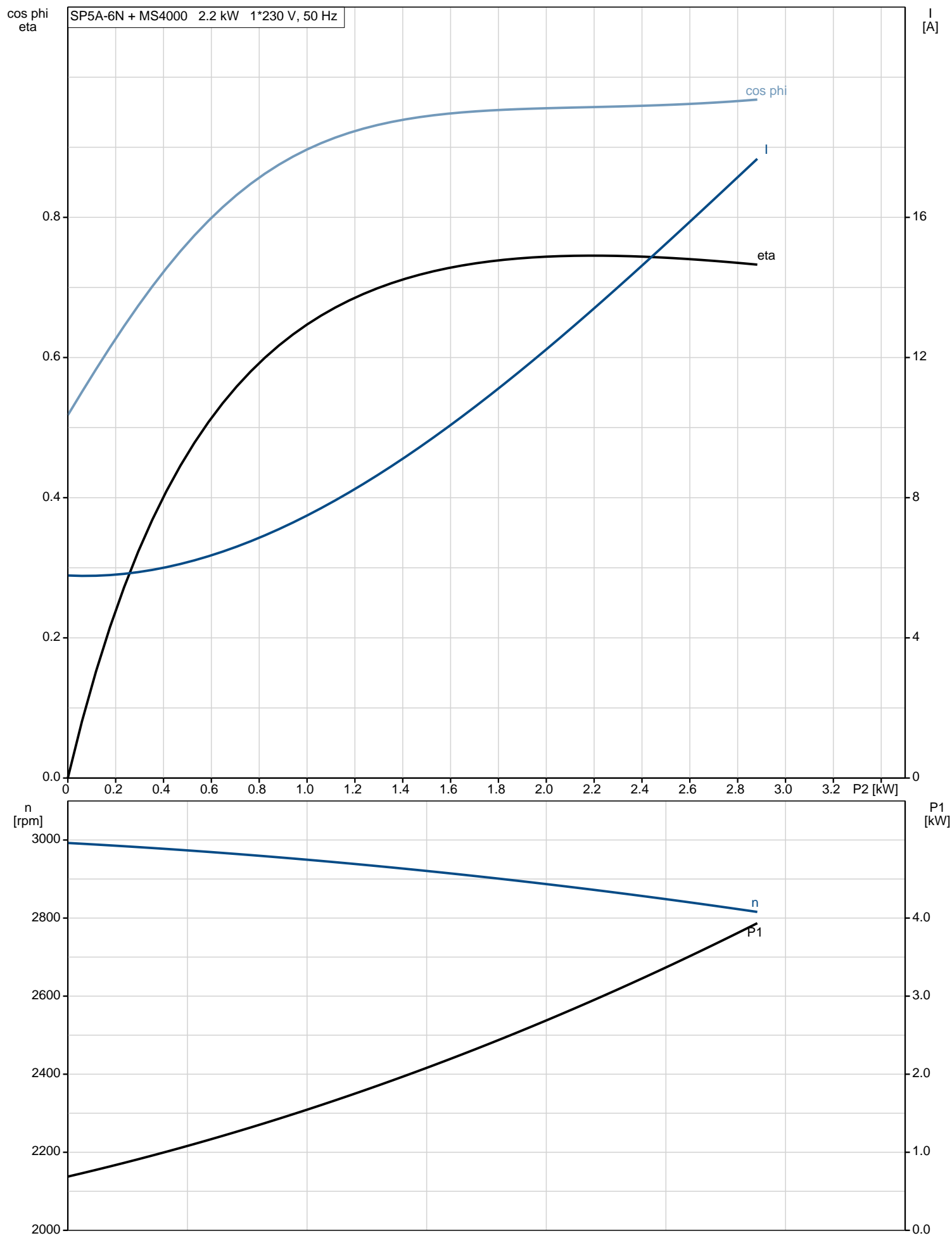




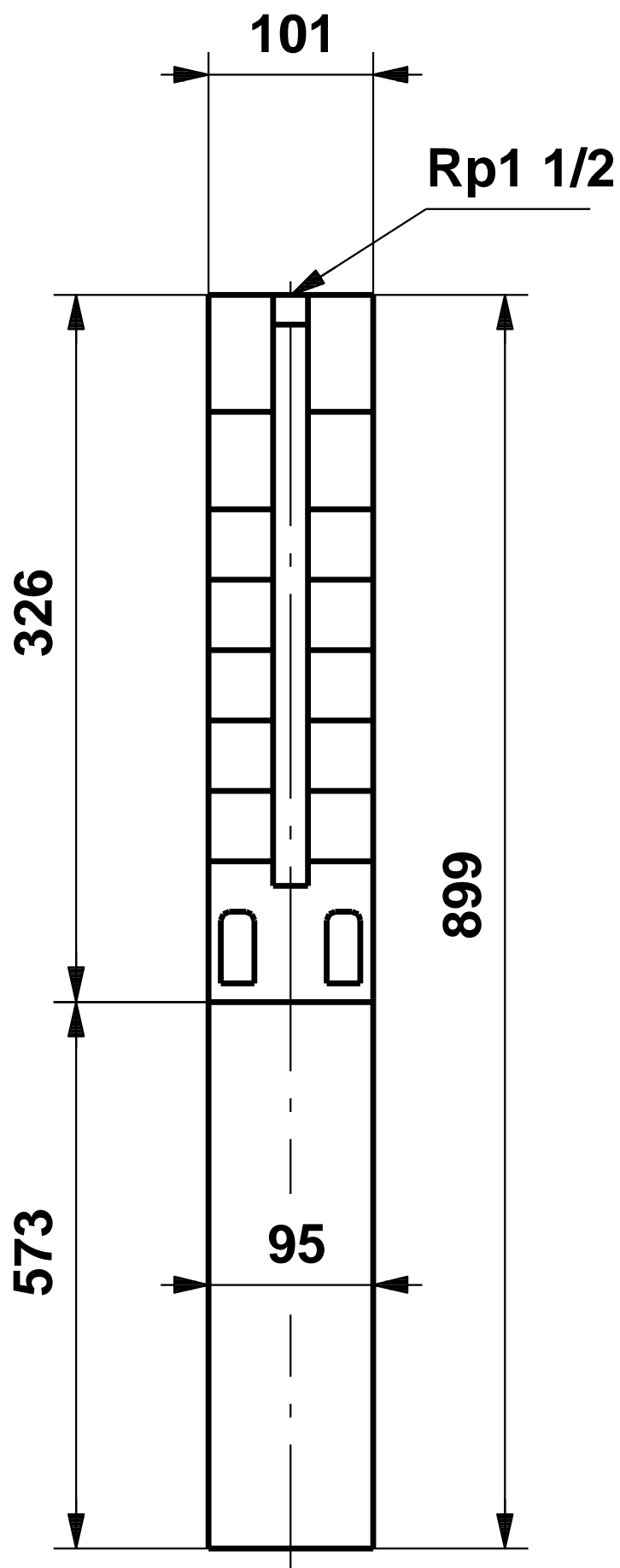
Description	Value
<b>General information:</b>	
Product name:	SP 5A-6N
Product No:	On request
EAN number:	On request
<b>Technical:</b>	
Speed for pump data:	2900 rpm
Rated flow:	5 m³/h
Rated head:	25 m
Shaft seal for motor:	SIC/SIC
Curve tolerance:	ISO9906:2012 3B
Pump type:	SP5A
Stages:	6
Model:	A
Valve:	pump with built-in non-return valve
<b>Materials:</b>	
Pump:	Stainless steel EN 1.4401
Impeller:	Stainless steel EN 1.4401
Motor:	Stainless steel DIN W.-Nr. 1.4539 AISI 904 L
<b>Installation:</b>	
Pump outlet:	Rp1 1/2
Motor diameter:	4 inch
<b>Liquid:</b>	
Pumped liquid:	Water
Maximum liquid temperature:	40 °C
Max liquid t at 0.15 m/sec:	40 °C
Liquid temp:	20 °C
Density:	998.2 kg/m³
<b>Electrical data:</b>	
Motor type:	MS4000
Type of motor:	CSCR
Appl. motor:	NEMA
Rated power - P2:	2.2 kW
Mains frequency:	50 Hz
Rated voltage:	1 x 220-230 V
Rated current:	14,6-14,0 A
Starting current:	540-600 %
Cos phi - power factor:	0,96-0,96
Rated speed:	2850-2870 rpm
Start. method:	direct-on-line
Enclosure class (IEC 34-5):	IP68
Insulation class (IEC 85):	F
Motor protec:	NONE
Thermal protec:	external
Built-in temp. transmitter:	no
Motor No:	79214607
<b>Others:</b>	
Minimum efficiency index, MEI :	0.56
ErP status:	EuP Standalone/Prod.
Net weight:	25.8 kg
Gross weight:	27.6 kg
Shipping volume:	12 m³



## On request SP 5A-6N 50 Hz

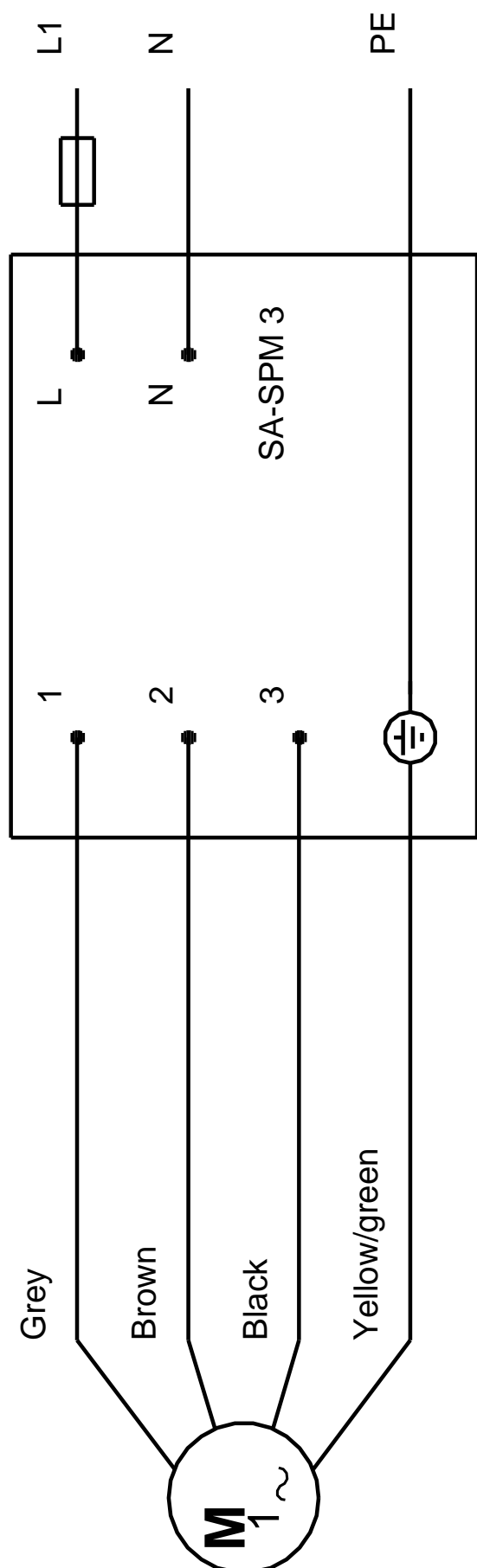


On request SP 5A-6N 50 Hz



Note! All units are in [mm] unless others are stated.  
Disclaimer: This simplified dimensional drawing does not show all details.

## On request SP 5A-6N 50 Hz





**Company name:** Lenntech BV  
**Created by:** Maksim Tkatchouk  
**Phone:**  
**Email:** maksim@lennotech.com  
**Date:** 20/12/2016

---

**Order Data:**

Product name: SP 5A-6N  
Amount: 1  
Product No: On request

Total: Price on request

---